# ANALISIS *GLASS-CERAMICS* DARI BATUAN BASALT LAMPUNG TIMUR SEBAGAI MATERIAL *FILLER* KOMPOSIT HIDROKSIAPATIT (HAp)

**(Tesis)**

**Oleh**

**YUSUP HENDRONURSITO**
**NPM 1925021004**

**FAKULTAS TEKNIK**
**UNIVERSITAS LAMPUNG**
**BANDAR LAMPUNG**
**2021**

# ABSTRAK


## ANALISIS *GLASS-CERAMICS* DARI BATUAN BASALT LAMPUNG TIMUR SEBAGAI MATERIAL *FILLER* KOMPOSIT HIDROKSIAPATIT (HAp)

**Oleh**

**YUSUP HENDRONURSITO**

*Glass-ceramics* merupakan material polikristalin berbutir halus yang dihasilkan oleh kristalisasi terkontrol pada fasa *glass*. Memiliki karaktesitik sebagai material biokeramik yang tahan terhadap bahan kimia maupun cairan tubuh, tidak terkorosi, dan sifat mekanik unggul. Material yang terus dikembangkan menjadi *glass-ceramics* adalah basalt.

Pembuatan *glass-ceramics* diawali pembentukan *glass* melalui proses *melting* temperatur 1.200 $^{o}$C selama 1 jam dilanjutkan pembentukan nukleasi temperatur 600 $^{o}$C selama 2 jam, dan proses kristalisasi pada temperatur 850, 950, 1.050 $^{o}$C selama 3 dan 8 Jam. Pembuatan komposit HAp – *glass-ceramics* dilakukan dengan komposisi 5, 10, 15% *glass-ceramics* berukuran < 44 μm. Sebagai *binder* ditambahkan 25% *Polilatic acid (PLA)* dengan pelarut *Methilene Chloride (MC)*.

Hasil analisis *thermal* menunjukkan bahwa basalt memungkinkan pembentukan *glass* secara homogen yang ditandai dengan prameter Trg kurang dari 2/3. Selain itu, parameter penting terdiri dari temperatur transisi *glass* (Tg) 425 $^{o}$C, temperatur awal kristalisasi (Tx) 725 $^{o}$C, dan titik lebur basalt ( Tm) 1.200

$^{o}$C. Komposisi kimia basalt dominan 48,418% $SiO_2$, 18,82% $Al_2O_3$, 12,593% $Fe_2O_3$, 9,761% CaO, 4,561% MgO, dan 3,356% $Na_2O$. Digram TAS ($Na_2O+K_2O$ - $SiO_2$) menunjukkan bahwa basalt merupakan tipe basalt subalkaline. Tekstur kristalin *glass-ceramics* yang halus dan seragam dipengaruhi oleh rasio $FeO/Fe_3O_4$ kurang dari 0,85. Rasio CaO/MgO dan CaO/NaO (2,5 dan 10) mengindikasikan bahwa kristalisasi terjadi pada temperatur rendah. Fasa yang terbentuk yaitu *anorthite, olivine* dominan *fayalite,* dan *pyroxene.* Kekerasan sebesar 637 hingga 837 $HV_{1N}$ dengan densitas antara 1,9 hingga 2,9 g/cm$^3$. Sebagai *filler* penguat komposit, *glass-ceramics* memberikan kenaikan kekerasan 125% dari material HAp dan 57% dari komposit HAp - PLA.

Kata kunci: basalt, *glass-ceramics*, kristalisasi, biokeramik, komposit

## ABSTRACT

***ANALYSIS OF GLASS-CERAMICS MADE FROM EAST LAMPUNG BASALT AS A FILLER MATERIAL IN HYDROXIAPATITE COMPOSITES***

***By***

***YUSUP HENDRONURSITO***

*Glass-ceramics were fine-grained polycrystalline material produced by controlled crystallization in the glass phase. It has characteristics as a bioceramic such as resistant to chemicals and body fluids, corrosion-resistant, and superior mechanical properties. Material that continues to be developed into glass-ceramics is basalt.*

*The glass-ceramic manufacturing begins with ordering the glass through a melting process at 1,200 $^{o}$C for 1hrs. Nucleation at 600 $^{o}$C for 2hrs, and a crystallization process at 850, 950, 1,050 $^{o}$C for 3 and 8 hrs. HAp-glass-ceramics composites were prepared with composition of 5, 10, 15% glass-ceramics. As a binder, 25% Polylactic acid (PLA) was added with Methylene Chloride (MC) as a solvent.*

*The analysis results show the basalt supports a glass homogeneously, indicated the Trg less than 2/3. The essential parameters include glass transition temperature (Tg) 425 $^{o}$C, initial crystallization temperature (Tx) 725 $^{o}$C, and basalt melting point (Tm) 1,200 $^{o}$C. The chemical composition of the dominant basalt is 48.418% $SiO_2$, 18.82% $Al_2O_3$, 12.593% $Fe_2O_3$, 9.761% CaO, 4.561%*

*MgO, and 3.356% $Na_2O$. TAS diagrams ($Na_2O$ + $K_2O$ - $SiO_2$) showed that basalt is a sub alkaline type of basalt. The crystalline texture of glass-ceramics is smooth and uniform with a FeO / $Fe_3O_4$ ratio of less than 0.85. The CaO / MgO and CaO / NaO ratios (2.5 and 10) indicate that crystallization occurs at low temperatures. The phases formed are anorthite, olivine, and pyroxene. The hardness are 637 - 837 $HV_{1N}$ with density between 1.9 to 2.9 g/cm$^3$. As a reinforcing composite filler, glass ceramics provide a 125% increase in hardness over HAp materials and 57% over HAp - PLA composites.*

*Keywords: basalt, glass-ceramics, crystallization, bioceramics, composites*

# ANALISIS *GLASS-CERAMICS* DARI BATUAN BASALT LAMPUNG TIMUR SEBAGAI MATERIAL *FILLER* KOMPOSIT HIDROKSIAPATIT (HAp)

**Oleh**

**YUSUP HENDRONURSITO**

**TESIS**

**Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar**
**MAGISTER TEKNIK**

**PADA**

**JURUSAN TEKNIK MESIN**
**FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS LAMPUNG**

**FAKULTAS TEKNIK**
**UNIVERSITAS LAMPUNG**
**BANDAR LAMPUNG**
**2021**

| | | |
|---|---|---|
| Judul Skripsi | : | Analisis *Glass-ceramics* dari Batuan Basalt Lampung Timur Sebagai Material *Filler* Komposit Hidroksiapatit (HAp) |
| Nama Mahasiswa | : | Yusup Hendronursito |
| Nomor Pokok Mahasiswa | : | 1925021004 |
| Program Studi | : | Magister Teknik Mesin |
| Fakultas | : | Teknik |

**MENYETUJUI**

1. Komisi Pembimbing

| Pembimbing I | Pembimbing II |
|---|---|
| **Dr. Irza Sukmana, S.T., M.T.** | **Dr. Eng. Shirley Savetlana, S.T.,M.Met.** |
| NIP 197008122001121001 | NIP 197402021999101001 |

2. Ketua Program Studi Magister Teknik Mesin

**Dr. Gusri. Akhyar Ibrahim, S.T., M.T.**
NIP. 197108171998021003

**MENGESAHKAN**

1. Tim Penguji

Ketua : **Dr. Irza Sukmana, S.T., M.T.** .....

Sekretaris : **Dr. Eng. Shirley Savetlana, S.T., M.Met** .....

Penguji Utama I : **Prof. Dr. Moh. Badaruddin, S.T., M.T.** .....

Penguji Utama II : **Prof. Dr. Sugiyanto, M.T.** .....

2. Dekan Fakultas Teknik Universitas Lampung

**Prof. Drs. Suharno, M.Sc., Ph.D.**
NIP. 196207171987031002

3. Direktur Pasca Sarjana Universitas Lampung

**Prof. Dr. Ahmad Saudi Samosir, S.T., M.T**
NIP. 197104151998031005

Tanggal Lulus Ujian Tesis: 03 Juli 2021

## PERNYATAAN ORISINALITAS TESIS

Saya yang bertanda tangan di bawah ini dalam keadaan sehat dan tanpa terpaksa, menyatakan dengan sesungguhnya, bahwa di dalam Naskah Tesis ini tidak terdapat karya ilmiah yang pernah diajukan oleh orang lain untuk memperoleh gelar akademik di suatu Perguruan Tinggi. Serta tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis dikutip dalam naskah ini sebagaimana diatur pada Pasal 36 Peraturan Akademik Universitas Lampung dengan Peraturan Rektor No. 13 Tahun 2019.

Bandar Lampung, 03 Juli 2021

Yang Membuat Pernyataan,

Yusup Hendronursito

NPM. 1925021004

## RIWAYAT HIDUP

Penulis dilahirkan di Kulonprogo, 14 Maret 1985 sebagai anak ketiga dari tiga bersaudara oleh pasangan petani yang bernama Bpk. T Warsito dan Ibu. MF. Tonny.

Menyelesaikan pendidikan kejuruan pada tahun 2003 di SMK PL Muntilan dan menyelasikan pendidikan kesarjanaan dengan gelar Sarjana Teknik pada tahun 2010 di Universitas Gadjah Mada. Selama semester akhir, penulis terlibat dalam serangkaian *project* kampus tentang perancangan sumur ekspansi pada pembangunan Pembangkit Listrik Panasbumi Geo Dipa yang bertempat di Dieng *Plateu.* Penulis melanjutkan studi pascasarjana di Teknik Mesin Universitas Lampung pada tahun 2019.

Sejak tahun 2014 penulis bekerja di Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia bertempat di Balai Penelitian Teknologi Mineral dan tergabung dalam kelompok penelitian Bukan Logam. Sejak 2015 penulis melakukan beberapa penelitian mengenai pemanfaatan dan teknologi pengolahan batuan basalt yang banyak tersebar di Lampung Timur yang memiliki potensi luar biasa sebagai material maju baik di bidang keteknikan maupun bidang pertanian. Bahkan pada tahun 2019, penulis telah mempelajari pemanfaatan batuan basalt sebagai stone meal pada tanaman singkong melalui pendanaan INSINAS Ristek Dikti 2019. Selain itu penulis juga mempelajari potensi batuan basalt sebagai material keramik dan untuk memperdalam ilmu pengetahuannya penulis mengambil tesis dengan judul

“Analisis *Glass-Ceramics* Dari Batuan Basalt Lampung Timur Sebagai Material *Filler* Komposit Hidroksiapatit (HAp)”. Pemberian *filler* basalt *glass-ceramics* ini mampu memberikan pengaruh positif terhadap sifat mekanik dari komposit HAp yang getas dan rapuh.

Kepada Ayahanda Themothius Warsito dan Ibunda Maria Florentina Tonny

Kepada Istri tercinta Chrisvina J. L

dan Anak-anakku terkasih: Dismas A. T. P & Chaterine G. E. L

The Best And Most Beautiful Things In The World Cannot Be Seen Or Even Touched - They Must Be Felt With The Heart: Helen Keller

## SANWACANA

Puji syukur penulis ucapkan kehadirat Tuhan Yang Maha Esa dan Bunda Maria, karena kasih dan kemurahan-Nya, tesis ini dapat diselesaikan.

Tesis dengan judul "Analisis *Glass-Ceramics* Dari Batuan Basalt Lampung Timur Sebagai Material *Filler* Komposit Hidroksiapatit (HAp)" adalah salah satu syarat memperoleh gelar Magister Teknik di Universitas Lampung.

Dalam kesempatan ini penulis mengucapkan terimakasih kepada:

1. Prof. Dr. Ir. Wan Abbas Zakaria, M. S., selaku Direktur Pascasarjana Universitas Lampung.
2. Prof. Dr. Suharno, M.Sc., Ph.D., selaku dekan Fakultas Teknik Universitas Lampung.
3. Dr. Gusri Akhyar Ibrahim, S.T., M.T. Selaku Ketua Jurusan Magister Teknik Mesin
4. Dr. Irza Sukmana, S.T., M.T. selaku pembimbing utama atas kesediaannya memberikan bimbingan, saran dan kritik dalam proses penyelesaian tesis ini;
5. Dr. Eng. Shirley Savet Lana, S.T., M.Met., selaku pembimbing kedua atas kesediaannya memberikan bimbingan, saran, dan kritik dalam proses penyelesaian skripsi ini;
6. Prof. Dr. Moh. Badaruddin, S.T., M.T., selaku penguji utama pada ujian tesis dan memberikan saran-saran guna perbaikan yang lebih baik;

7. Dr. Eng. Widi Astuti, selaku Kepala Balai Penelitian Teknologi Minereal - LIPI, yang telah memberikan ijin serta tempat untuk melakukan penelitian tesis dimana penulis bekerja;
8. Seluruh Bapak dan Ibu dosen serta seluruh staf administrasi Jurusan Magister Teknik Mesin Universitas Lampung atas ilmu serta suasana yang nyaman selama perkuliahan;
9. Seluruh pegawai Balai Penelitian Teknologi Mineral - LIPI, khususnya Kelompok Penelitian Bukan Logam, atas diskusi dan berbagi ilmunya dalam penyelesaian penelitian tesis ini.
10. Serta semua saja yang telah membantu di dalam penyelesaian tesis ini mulai dari penelitian hingga penulisan naskah yang tidak dapat disebutkan satu persatu.

Bandar Lampung, 03 Juli 2021

Yusup Hendronursito

# DAFTAR ISI

Halaman

**HALAMAN JUDUL**..... ii

**ABSTRAK**..... iii

***ABSTRACT***..... v

**HALAMAN PERSETUJUAN**..... vii

**PERNYATAAN ORISINALITAS TESIS**..... ix

**RIWAYAT HIDUP**..... x

**HALAMAN PERSEMBAHAN**..... xii

**SANWACANA**..... xiii

**DAFTAR ISI**..... xv

**DAFTAR GAMBAR**..... xviii

**DAFTAR TABEL**..... xxi

**DAFTAR LAMPIRAN**..... xxiii

**I PENDAHULUAN**..... 1

1.1. Latar Belakang dan Masalah..... 1

1.2. Tujuan..... 6

1.3. Batasan Masalah..... 7

1.4. Sistematika Penulisan..... 8

**II TINJAUAN PUSTAKA**..... 9

2. 1. Hydroxiapatite (HAp)..... 9

2. 2. *Glass - Ceramics* ..... 13

2. 3. Basalt ..... 19

2.3.1. Klasisfikasi batuan basalt ..... 19

2.3.2. Persebaran basalt di Indonesia ..... 25

2.3.3. Basalt *Glass-Ceramics* ..... 28

2. 4. Komposit *HAp-Glass Ceramics* ..... 34

2.4.1. Komposit ..... 34

2.4.2. Fraksi Massa Komposit ..... 38

2. 5. Pengujian ..... 39

2.5.1. *Thermal (TG/ DTA)* ..... 39

2.5.2. Komposisi kimia *X-ray fluorescence (X-RF)* ..... 44

2.5.3. Kristalografi (X-ray Diffraction) ..... 47

2.5.4. Struktur Mikro *(SEM)* ..... 49

2.5.5. Kekerasan Mikro *(Vickers)* ..... 50

2.5.6. Densitas *Glass-ceramics* ..... 52

III **METODE** ..... 55

3.1. Tempat dan Waktu ..... 55

3.1.1. Tempat ..... 55

3.1.2. Waktu ..... 56

3.2. Alat dan Bahan ..... 60

3.2.1. Alat ..... 60

3.2.2. Bahan ..... 75

3.2.3. Metode ..... 76

3.3. Pelaksanaan ..... 81

**IV HASIL**.....82

4.1. Hasil Uji *Thermal*.....83

4.1.1. *Thermal Gravimetric Analysis (TGA)*.....84

4.1.2. *Differential Thermal Analysis (DTA)*.....85

4.2. Hasil Uji *X-Ray Fluorescence*.....88

4.2.1. *X-ray fluorescence raw* basalt.....88

4.2.2. *X-ray fluorescence* basalt *glass-ceramics*.....92

4.2.3. Pengujian *X-Ray Diffraction*.....97

4.3. Hasil Uji Mikro *Vickers*.....107

4.4. Hasil uji densitas *glass-ceramics*.....114

4.5. Hasil Uji Degradasi $H_2O$.....115

4.6. Hasil analisis SEM Basalt *Glass-Ceramics*.....116

4.7. Analisis komposit HAp - *Glass-ceramics*.....125

**V KESIMPULAN**.....134

5.1. Kesimpulan.....134

5.2. Saran.....136

**DAFTAR PUSTAKA**.....138

## DAFTAR GAMBAR

Gambar Halaman

Gambar 1. Batuan basalt..... 13

Gambar 2. Perbedaan struktur atom kaca dengan keramik.....17

Gambar 3. Klasifikasi secara umum batuan vulkanik .....20

Gambar 4. Diagram Total alkali-silica (TAS) .....21

Gambar 5. Basalt lebur menggunakan tungku tegak ..... 22

Gambar 6. Produk *cast* basalt.....23

Gambar 7. Pemanfaatan serat basalt di berbagai bidang.....24

Gambar 8. Batuan basalt Lampung Timur.....26

Gambar 9. Kekerasan basalt *glass-ceramics* .....30

Gambar 10. Diagram batang kekuatan tarik material teknik..... 35

Gambar 11. Komposit berpenguat partike..... 38

Gambar 12. Kurva TG.....40

Gambar 13. Instrumtasi pengujian DTA.....42

Gambar 14. Kurva DTA *glass-ceramics* ($Li_2O$-$Al_2O_3$-$6SiO_2$).....43

Gambar 15. Bekas indentasi .....52

Gambar 16. *Jaw crusher*..... 61

Gambar 17. Mesin *ballmill.*..... 63

Gambar 16. Ayakan standar ASTM.....64

Gambar 17. *Muffle furnace.*..... 66

Gambar 18. Cawan krusibel berbahan *graphite.*.....67

Gambar 19. *Analitycal balance.*.....69

Gambar 20. Mesin press manual.....70

Gambar 21. *Mortar* dan *pestle.*..... 71

Gambar 22. Alat uji XRF.....71

Gambar 24. Mesin *X-Ray Diffraction benchtop*..... 73

Gambar 25. Alat SEM .....74

Gambar 26. Diagram alir penelitian.....81

Gambar 27. Preparasi batuan bassalt Sukadana menjadi *glass-ceramics.*..... 82

Gambar 28. Grafik uji thermal DTA dan TGA raw basalt..... 84

Gambar 29. Basalt *glass* hasil peleburan temperatur 1.250 - 1.400$^{o}$C.....86

Gambar 30. Basalt *Glass-ceramics*..... 88

Gambar 31. Diagram TAS hubungan $Na_2$ dan $K_2O$ dengan $SiO_2$.....91

Gambar 32. Pengaruh temperatur terhadap perubahan oksidasi FeO..... 94

Gambar 33. Komparasi *X-Ray Diffraction raw* dengan *glass-ceramics* (R1)..... 98

Gambar 34. Komparasi *peak* yantara *raw* basalt dengan *glass-ceramics* (R1).....99

Gambar 35. Perbandingan hasil XRD basalt *glass-ceramics*.....99

Gambar 37. Struktur mikro jejak indentasi material R1, Pembesaran 200x..... 111

Gambar 38. Struktur mikro jejak indentasi material R2, Pembesaran 200x..... 112

Gambar 39. Struktur mikro jejak indentasi material R3, Pembesaran 200x..... 112

Gambar 40. Struktur mikro jejak indentasi material R4, Pembesaran 200x..... 112

Gambar 41. Struktur mikro jejak indentasi material R5, Pembesaran 200x..... 113

Gambar 42. Struktur mikro jejak indentasi material R6, Pembesaran 200x..... 113

Gambar 44. Grafik pengujian degradasi basalt *glass-ceramics* ..... 116

Gambar 45. Mikrostruktur *glass-ceramics* ..... 117

Gambar 46. *Bubbles* yang terbentuk pada *glass-ceramics* sampel R1.....118

Gambar 47. SEM-EDX Sampel R1..... 118

Gambar 4.8 Foto persebaran unsur kimia pada *glass-ceramics* sampel R1.....119

Gambar 49. Diagram Energy (keV) terhadap cps/eV Sampe R1.....120

Gambar 50. foto SEM-EDX glass-ceramics sampel R2..... 120

Gambar 51. Foto persebaran unsur kimia pada *glass-ceramics* sampel R2.....121

Gambar 52. Foto persebaran unsur kimia pada *glass-ceramics* sampel R3.....122

Gambar 53. Foto persebaran unsur kimia pada *glass-ceramics* sampel R4.....123

Gambar 54. *SEM-EDX spot* 1, 2, 3 sampel R5..... 124

Gambar 55. *SEM-EDX spot* 1, 2, 3 sampel R6..... 124

Gambar 56. Komposit HAp - *Glass-ceramics*..... 127

Gambar 57. Sampel yang telah diresin..... 128

Gambar 58. Pelarutan *PLA* dengan *MC* pada sistem tertutup..... 129

Gambar 59. Gelembung-gelembung udara pada larutan *PLA*..... 130

Gambar 60. Gelembung-gelembung udara pada larutan *PLA*..... 131

# DAFTAR TABEL

Halaman

Tabel 1. Sifat Fisis HAp Sintetis.....11

Tabel 2. Potensi Basalt di Indonesia ..... 26

Tabel 3. Jadwal kegiatan penelitian..... 57

Tabel 4. Peralatan penelitian..... 60

Tabel 5. Spesifikasi *jaw crusher*..... 61

Tabel 6. Spesifikasi mesin *ballmill*..... 63

Tabel 7. Spesifikasi ayakan.....64

Tabel 8. Spesifikasi *muffle furnace*.....66

Tabel 9. Spesifikasi mesin Press Hidrolik.....70

Tabel 10. Spesifikasi *X-RF benchtop*.....72

Tabel 11. Spesifikasi *X-Ray Diffracton benchtop*.....73

Tabel 12. Spesifikasi SEM Phenom Pro X..... 74

Tabel 13. Spesifikasi HAp..... 76

Tabel 14. Desain eksperimen komposit *HAp*.....78

Tabel 15. Penomoran sampel dan parameter perlakuan.....83

Tabel 16. *Thermal properties* dan paramater pembentukan *glass*..... 85

Tabel 17. Komposisi kimia (X-RF) basalt Sukadana, Lampung Timur..... 88

Tabel 18. Perbandingan elemen utama pada basalt ..... 90

Tabel 19. Komposisi oksida sampel *glass-ceramics*.....92

Tabel 20. Rasio CaO: MgO dan CaO/$Na_2O$.....96

Tabel 21. Komparasi fasa kristal basalt *glass-ceramics* dari berbagai negara.....106

Tabel 22. Hasil pengujian kekerasan material Metode *micro vickers* (HV)..... 108

Tabel 23. Standar pengukuran kekerasan (Hv)..... 110

Tabel 24. Hasil pengujian densitas basalt *glass-ceramics*..... 114

Table 25. SEM - EDX test results for *glass-ceramics*..... 125

Tabel 26. Densitas material pembentuk komposit..... 126

Tabel 27. Komposisi komposit HAp - *Glass-ceramics*..... 127

Tabel 28 Tingkat kepercayaan pengukuran kekerasan mikro .....131

## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran Halaman

1. Draft Naskah Publikasi..... 150
3. Hasil Uji Mikro Komposit HAp - Glass-ceramics..... 176
4. Hasil Uji SEM..... 180

# I. PENDAHULUAN

## 1.1. Latar Belakang dan Masalah

Tulang buatan merupakan tulang yang dibuat di laboratorium yang dapat digunakan dalam cangkok tulang untuk menggantikan tulang manusia yang hilang karena patah, penyakit, dan lain sebagainya. Tulang buatan atau cangkok sintetis di dunia kedokteran dewasa ini semakin menjadi perhatian para ilmuwan dalam mengembangkan dan merancang biomaterial yang memiliki sifat biokompatibilitas, osteokonduktivitas, porositas tinggi, dan kompatibilitas biomekanik.

Tulang buatan yang terbuat dari bahan logam cukup kuat untuk menopang pemuatan dalam tulang karena memiliki sifat kekuatan yang tinggi (Dehghanghadikolaei *and* Fotovvati, 2019; Long, 1975). Beberapa penelitian mengenai penggunaan logam sebagai material tulang tiruan seperti Titanium, Titanium *based alloys*, Platinum (Pt), dan *Austenitic Stainless Steel* (316L), dan Tantalum (Breme *et al*., 2016; Chen *et al*., 2018; Fraser *et al*., 2019; Niinomi *et al*., 2012; Shen *et al.*, 2019), namun di dalam penggunaannya, tulang buatan dari bahan logam perlu diperhatikan secara hati-hati dengan memperhatikan kemungkinan korosi logam oleh cairan tubuh dan atau reaksi logam oleh tubuh. Kekakuan material tulang buatan berbahan logam cenderung menciptakan beban

yang sangat besar pada pasien. Bahkan dijumpai beberapa pasien yang memiliki gejala pra operasi yang berulang pada penggunaan tulang berbahan logam seperti yang diteliti oleh Willert (2005). Dalam penelitiannya mengenai penggunaan tulang tiruan dari logam menunjukkan adanya perubahan histori karakteristik pada jaringan *periprosthetic* terhadap perkembangan respon imunologis (Willert *et al*., 2005). Untuk mengatasi kekurangan tulang buatan dari material logam dibutuhkan material selain logam yang dapat menerima beban berat serta kekakuan, ringan, dan kuat. Material *non* logam yang mendekati dengan sifat tulang dan gigi salah satunya adalah *Hydroxyapatite (HAp)* dengan rumus kimia $Ca_{10}(PO_4)_6(OH)_2$. *HAp* merupakan kelompok apatit yang paling sering digunakan di dunia medis karena sifatnya yang biokompatibel dan osteokonduktif. Struktur sifat kolagen dan hidroksiapatit menyebabkan bentuk kalsium fosfat yang paling stabil. Selain itu *HAp* bersifat *non-toxic* dan tahan korosi (Tikhenko *et al*., 2016).

Penggunaan HAp sebagai material tulang dan gigi tiruan memiliki beberapa kekurangan seperti sifat mekanik yang rendah ditunjukkan dengan sifatnya yang rapuh dan getas (Tikhenko et al., 2016). Maka diperlukan penambahan material sebagai filler penguat yang dapat meningkatkan sifat mekanika dari HAp. Penggunaan basalt *scale* sebagai penguat pada sebuah komposit telah banyak dilakukan. Akademi ilmu pengetahuan Ukraina di dalam Sevastyanov (1999), mempelajari tentang penggunaan basalt serbuk sebagai suplemen penyebaran kekuatan material dan perlakuan suhu untuk memperoleh sifat mekanik maksimum sebagai material komposit (Sevastyanov et al., 1999). Dalam penelitian yang dilakukan Griffith dan Naughton (2002), juga diungkapkan bahwa

penggunaan *bio-ceramic* dapat meningkatkan kekuatan dari material komposit tulang buatan (Griffith *and* Naughton, 2002). Basalt memiliki sifat fisik dan mekanik yang sangat baik, khususnya kekerasan tinggi, kekuatan tinggi, ketahanan aus yang baik, warna dan kilau yang sangat baik, serta tidak bereaksi terhadap bahan kimia.

Keamanan dan ketahanan tubuh terhadap material tiruan yang diimplan pada tubuh diteliti secara seksama agar tidak menimbulkan efek berlebih yang menyebabkan kerusakan fungsi kesehatan pada manusia. Boshytska *et al.,* (2017), melakukan penelitian stabilitas fisik dan kimia dari basalt serbuk (BS) terhadap lingkungan biologi (Boshytska *et al*., 2017). Dalam penelitiannya disimpulkan bahwa basalt s*cale* aman terhadap lingkungan kehidupan organisme. Penelitian lain yang mempelajari pengaruh basalt terhadap tubuh makhluk hidup juga dipelajari oleh Kogan dan Nikitina (1994), melakukan percobaan pengaruh asbestos dan serat basalts pada tikus selama 6 bulan (Kogan and Nikitina, 1994). Pada kasus penggunaan serat asbestos pada tikus menunjukkan bahwa sepertiga tikus mati, pada dosis asbestos 2,7 g/kg semua tikus mati. Pada kasus serat basalt, semua tikus bertahan hidup pada dosis hingga 10 g/kg. Demikian juga pada percobaan McConnel *et al*., (1994), menjelaskan dalam percobaannya bahwa basalt menunjukkan reaksi yang tidak berbahaya bagi tubuh manusia (McConnell *et al*., 1994). Selanjutnya penelitian oleh Tikhenko (2016), mempelajari stabilitas *biochemical* komposisi HAp dan basalt yang disimulasikan pada sebuah cairan tubuh yang hidup. Pendekatan secara komprehensive secara spesifik meliputi preparasi sampel dan lingkungan biologi dan kandungan kimia kompleks, kalorimetri fotoelektrik dan *x-ray* diterapkan untuk mengevaluasi stabilitas biokimia

bahan HAp – BS. Dua metode preparasi dilakukan untuk menentukan jumlah besi dalam filtrat selama penelitian stabilitas *biochemical* pada sistem komposisi HAp – BS dalam lingkungan fisiologis. Dalam penelitiannya digunakan dua macam larutan yang mendekati dengan darah manusia sebagai fluida simulasi adanya reaksi antara tulang tiruan berbahan HAp-BS terhadap tubuh manusia. Dari penelitian ini disimpulkan bahwa HAp – BS dapat digunakan sebagai material tulang tiruan, dan memungkinkan penggunaan biomaterial sebagai rekonstruksi tulang pada operasi osteoplastik, kedokteran gigi, dan ortopedi (Tikhenko *et al*., 2016).

Dari uraian penjelasan penelitian Tikhenko *et al*., (2016) dan penelitian-penelitian lain yang telah diuraikan di atas, sangat jelas bahwa tulang tiruan berbahan HAp – BS sangat aman terhadap tubuh manusia.

Batuan basalt banyak dijumpai di Indonesia bahkan menurut Isnugroho dkk., (2018), batuan basalt di Indonesia mencapai 1 milyar ton yang tersebar di pulau-pulau Indonesia. Di Pulau Sulawesi, Zulkarnain (2001) dalam penelitiannya menyatakan adanya persebaran batuan basalt di Pulau Manado Tua (Zulkarnain, 2001). Batuan basalt juga ditemui berada di balik sisi Gunung Manado Tua yang terdiri dari batuan basalt dan andesit basaltic (Jezek *et al*., 1981). Di Pulau Sumatera, Zulkarnain (2011) menambahkan bahwa persebaran basalt terdapat di Sipongi (Mandailing Natal, *North Sumatera*), dan Silungkang area (Sawahlunto, *West Sumatera*) (Zulkarnain, 2011). Sedangkan di Provinsi Lampung persebaran produk vulkanik berupa batuan basalt dijumpai di sekitar sisi barat Gunung Tanggamus, melalui teluk di sekitar Semangko

dan terus ke timur Gunung Rajabasa dan dataran tinggi basalt di daerah Sukadana. Penambangan batuan basalt di Lampung Timur banyak dilakukan oleh warga sekitar dengan memanfaatkan tenaga harian maupun alat berat menjadi bahan bangunan.

Penelitian pemanfaatan basalt pada tulang buatan akan menjadikan potensi daerah ini memiliki nilai tambah dalam mendukung riset nasional dalam bidang material maju. Untuk mengetahui kemungkinan penggunaan BS sebagai bahan pengisi dan penguat HAp maka perlu dilakukan penelitian dan pengujian serta analisa karakteristik material basalt *glass-ceramics*. Pengujian tersebut yaitu uji *thermal* meliputi *thermal gravimetric analysis (TGA)* dan *differential thermal analysis (DTA)* dengan metode uji *IP-PSK-05-01-5b/2,* dilakukan untuk mengetahui suhu transisi *glass* yang akan digunakan sebagai parameter perlakuan panas *(heat treatment)* pada pembuatan *glass-ceramics*; uji komposisi kimia menggunakan *X-Ray Fluorescence (XRF Epsilon 4 XRF Spectrometer from Malvern Panalytical)* yang beroperasi pada tegangan *50 kV* dan arus *3 mA;* uji pembentukan fasa dan fenomena pembentukan kristal menggunakan *X-Ray Diffraction*: *Panalytical Xpert 3 Powder XRD* dengan *Cu-Kα source* yang beroperasi pada tegangan *40 kV* dan arus *30 mA*; morfologi permukaan menggunakan *scanning electron microscope (SEM);* analisis elemental kimia *scanning electron microscope-energy dispeersive X-Ray (SEM-EDX)*; uji mekanik meliputi uji *micro vickers (Hv)* dan uji degradasi pada $H_2O$; densitas *glass-ceramics* berdasarkan hukum *archimedes.*

Selain karakteristik material basalt *glass-ceramics* dalam penelitian ini juga akan dilakukan proses pembuatan komposit HAp dengan basalt *glass-ceramics* serbuk sebagai *filler* penguatnya. Komposit yang dibuat akan dilakukan pengujian berupa mikro *vickers (HV)* untuk mengetahui kekerasan komposit yang dibuat.

## 1.2. Tujuan

Penelitian ini bertujuan untuk mempelajari sifat dan karakteristik dari basalt sebagai material *glass-ceramics* yang digunakan sebagai material *filler* penguat pada komposit Hidroxiapatit (HAp), dimana basalt yang digunakan berasal dari Lampung Timur – Provinsi Lampung. Pengujian dilakukan baik pada *raw* material berupa basalt dari Lampung Timur maupun produk *glass-ceramics* dan komposit hidroksiapatit berpenguat *glass-ceramics* bertujuan untuk mengetahui potensi basalt sebagai biomaterial.

Penggunaan material lokal khususnya basalt dari Provinsi Lampung diharapkan mampu memberikan kontribusi nyata terhadap kemandirian suatu bangsa untuk memenuhi kebutuhan material di bidang medis. Basalt di negara eropa telah banyak dimanfaatkan sebagai material maju tidak terkecuali sebagai material implan tulang dan gigi. Di Indonesia pemanfaatan basalt masih terbatas pada penggunaan sebagai batuan pada konstruksi jalan maupun rumah. Potensi batuan basalt harus dilakukan penelitian dan pengembangan untuk diperoleh penguasaan teknologi serta produk yang dapat dihasilkan.

## 1.3. Batasan Masalah

Ruang lingkup masalah pada penelitian dengan Judul "**Analisis *Glass-Ceramics* Dari Batuan Basalt Lampung Timur Sebagai Material *Filler* Komposit Hidroksiapatit (HAp)**", yaitu:

1. Penggunaan batuan basalt dari Sukadana - Lampung Timur sebagai *raw material* basalt *glass-ceramics*.
2. Serbuk basalt diayak pada ukuran lolos *mesh* 325, dilebur tanpa bahan tambah pada rentang temperatur 1.250 $^{o}$C – 1.350 $^{o}$C.
3. Perlakuan panas pembentukan *glass-ceramics* berdasarkan pada analisis pengujian *thermal TGA* dan *DTA raw* basalt Lampung Timur.
4. Temperatur kristalisasi menggunakan tiga varian temperatur dan dua varian lama penahanan yaitu 850 $^{o}$C, 950 $^{o}$C, dan 1.050 $^{o}$C ditahan selama 3 dan 8 Jam di dalam tungku *furnace*. Pendinginan *normalizing* dilakukan di tungku hingga temperatur 30 $^{o}$C – 60 $^{o}$C.
5. Karakteristik basalt *glass-ceramics* meliputi uji komposisi kimia *X-Ray Fluorescence;* uji pembentukan fasa *X –Ray Diffraction;* uji mekanis *micro vickers (HV)*, uji fisis densitas dan degradasi pada cairan $H_2O$; dan analisis morfologi serta elemental kimia (SEM/ SEM-EDX).
6. Komposit HAp berpenguat *filler* serbuk basalt *glass-ceramics* menggunakan perbandingan fraksi volume 5, 10, 15% *filler glass-ceramics.* Matriks yang digunakan yaitu P*olylatic Acid (PLA)* kelas medis 2002d yang dilarutkan menggunakan M*ethylene Chloride (MC)* atau disebut juga *Dichloromethane,*

Hidroksipatit (HAp) dengan kemurnian 99% *biomedical grade* berukuran 30 μm.

7. Pengujian komposit HAp berpenguat *glass-ceramics* yaitu mikro *vickers (HV).*

## 1.4. Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan yang digunakan pada penelitian ini dibagi ke dalam bab dan sub bab sebagai berikut:

I Pendahuluan

Pendahuluan berisikan tentang latar belakang penelitian, tujuan penelitian, batasan masalah dan sistematika penulisan.

II Tinjauan Pustaka

Tinjauan pustaka pada penelitian ini berisikan tentang sumber-sumber pustaka yang digunakan sebagai acuan di dalam melaksanakan penelitian baik pada saat percobaan di lapangan maupun analisa dan pembahasan.

III Metode Penelitian

Metode penelitian menyajikan mekanisme tahapan-tahapan penelitian yang dilakukan, alat-alat yang digunakan berikut mekanisme pengujian yang dilakukan.

Daftar Pustaka

Daftar pustaka berisi semua pustaka yang digunakan di dalam penulisan naskah.

# II TINJAUAN PUSTAKA

## 2. 1. Hydroxiapatite (HAp)

*Hydroxiapatite* (HAp) dengan rumus kimia $Ca_{10}(PO_4)_6(OH)_2$ merupakan mineral yang terbentuk secara alami di dalam komponen inorganik pada tulang dan gigi manusia (Kehoe, 2008). Unsur-unsur penyusun HAp terutama kalsium dan fosfor, dengan rasio stoikiometrik kalsium terhadap fosfor adalah 1,667. Proses sintesis HAp diperlukan sumber kalsium yang cukup tinggi. Beberapa bahan yang dapat digunakan untuk membuat HAp diantaranya yaitu: tulang sapi (Warastuti dkk., 2014); kulit telur (Mozartha *et al.*, 2015; Shinta dkk., 2017); kerang (Khoirudin dkk., 2008); batu kapur (Margareta dkk., 2015); dan lain sebagainya. Dari beberapa bahan utama tersebut, batu kapur merupakan sumber kalsium terbesar. Batu kapur merupakan mineral inorganik dengan konstituen utama adalah kalsium. Kandungan kalsium karbonat ($CaCO_3$) di batu kapur sekitar 95% dan kandungan kalsium karbonat dapat dimurnikan untuk mendapatkan kalsium. Oleh sebab itu, batu kapur dapat diaplikasikan langsung ke berbagai aplikasi seperti klinis, medis, pengembangan biomaterial dan sangat cocok untuk diaplikasikan pada pembuatan HAp. Struktur HAp terdiri dari ion kalsium, fosfor, dan hidroksil ($Ca_{10}(PO_4)_6(OH)_2$ yang sering digunakan sebagai pengganti mineral tulang dan jaringan gigi karena kandungan kimia yang memiliki kesamaan sehingga HAp dapat mengikat secara kimia dengan tulang dan gigi manusia. Penggunaan HAp juga dianggap aman dibandingkan material lain karena kemampuannya memungkinkan

osteointegrasi secara sempurna, tidak menimbulkan toksisitas lokal maupun sistemik, dan tidak terjadi aktivitas genotoksik dalam sistem biologis tubuh (Arboleda *et al*., 2016). Fraksi mineral dalam tulang manusia terdiri dari sekitar 65% hidroksiapatit. HAp telah banyak digunakan untuk memperbaiki, mengisi, menambah, dan merekonstruksi tulang yang rusak dan jaringan gigi dan juga jaringan lunak (Sirait dkk., 2020). Sifat-sifat ion kalsium ($Ca^{2+}$) dalam HAp dapat mengubah ion logam berat beracun dan memiliki kemampuan untuk menyerap unsur-unsur kimia organik dalam tubuh dan juga memiliki biokompatibilitas dan biokativitas yang baik (Suzuki et al., 1981) dan mineral kalsium fosfat terkait lainnya digunakan secara luas untuk meningkatkan integrasi implan femoralis ke dalam sendi panggul. HAp tampak paling menjanjikan karena sifat biologisnya yang luar biasa seperti atoksisitas, kurangnya respons inflamasi, dan tidak adanya fibrosa atau imunologis.

Sifat fisik dan mekanik serbuk HAp dihasilkan dari penerapan berbagai teknik produksi serbuk HAp. Tabel 1 menunjukkan sifat fisis HAp seperti rentang densitas, porositas, dan ukuran kristal. Densitas HAp secara teori adalah sebesar 3,156 g/cm$^3$. Rentang densitas HAp adalah antara 3,00 hingga 3,129 g/cc dengan tingkat porositas 0,1 hingga 3%. Sifat mekanik yang menjadi kunci karakteristik HAp adalah kekuatan tekan, kekuatan tarik, dan ketangguhan retak. Kekuatan tekan berkisar antara 38 – 250 MPa, kekutan tarik antara 120 – 150 MPa, ketangguhan retak antara 38 – 300 MPa. Rentang nilai yang besar dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti distribusi kekuatan yang beragam dan pengaruh residu mikroporositas, ukuran butir dan pengotor ion. Dengan peningkatan rasio Ca/P, kekuatan juga meningkat, dan mencapai puncaknya pada rasio

1,67, dan mengalami penurunan pada rasio >1,67 (Suchanek & Yoshimura, 1998). Modulus *weibull* HAp antara 5-18, dan bersifat rapuh. Koefisien rambatan retak yang diperlambat (*crack propagation*) berkisar antara 26 hingga 80 dalam kondisi kering atmosfer, dan antara 12 hingga 49 pada kondisi udara lembab, yang mengindikasikan sangat sensitif terhadap retak rambat (Suchanek & Yoshimura, 1998).

Tabel 1. Sifat Fisis HAp Sintetis

| ***Physical Property*** | ***Metric Unit*** |
|---|---|
| *Density* | 3.00 – 3.219 g/cc |
| *Porosity* | 0.1 – 3 % |
| *Lattice Parameter* (± 0.003mm) | |
| *a lattice constant* | 9.432 – 0.9418 nm |
| *b lattice constant* | 6.881 – 0.6884 nm |
| *Crystallinity index* | 33 -37 |
| *Crystallinity size* | 0.0250 x 0.0030 nm |
| *Ignition Products* | HAp + CaO |

Dalam penggunaannya sebagai material tulang dan gigi tiruan, HAp memiliki beberapa kekurangan seperti sifat mekanik yang rendah ditunjukkan dengan sifatnya yang rapuh dan getas (Tikhenko *et al.*, 2016). Karakteristik HAp yang rapuh juga ditunjukkan oleh nilai modulus *Weibull's* yaitu antara 5 – 18, sedangkan modulus *Young* HAp bervariasi antara 35 hingga 120 Gpa tergantung pada porositas dan kotoran pengikut, Modulus Young pada pengujian lengkung antara 44 hingga 88 Gpa. Kekerasan vickers adalah 3 hingga 7 Gpa. Ketahanan aus dan koefisien gesek keramik HAp setara dengan enamel (Kehoe, 2008).

Beberapa ilmuwan telah mengembangkan beberapa metode untuk menaikan sifat mekanik HAp dengan berbagai metode (Bohner, 2000; Putlayev, 2004; Tadic & Epple, 2004). Menurut Frastsevich dari *Institute for Problems of Material Sciences of National Academi of Sciences of Ukraine* di dalam Sevastyanov (1999), mempelajari tentang penggunaan basalt serbuk sebagai suplemen penyebaran kekuatan material dan perlakuan suhu untuk memperoleh sifat mekanik maksimum sebagai material komposit (Sevastyanov *et al.*, 1999). Selain itu untuk memperbaiki sifat mekanik HAp banyak dilakukan dengan mencampurkan HAp dengan bahan *bioceramics*. Salah satu dari material *bioceramics* adalah *glass-ceramics*, dimana menurut penelitian Ates *et al*., (2017), basalt yang telah dilebur pada suhu 1.500 $^{o}$C dan perlakuan *quecing* menggunakan air dingin membetuk fasa *glass-ceramics*. Pembuatan *glass-ceramics* dari basalt dilakukan dengan teknik *melt-quenching* sederhana dan selanjutnya dirubah menjadi fasa *glass-ceramics* dengan proses nukleasi dan kristalisasi yang terkontrol (Ateş *et al*., 2017). McCollister (1977) dalam *US patent* juga menjelaskan metode pembentukan *glass-ceramics* dari modifikasi batuan basalt. Diungkapkan dalam metode pembuatan *glass-ceramics* dari batuan basalt yang dilebur dan diperkaya dengan salah satu senyawa CaO, MgO, dan $SiO_2$ untuk mencapai rasio tertentu, basalt yang telah leleh kemudian didinginkan dan secara *thermal* membentuk kristal *glass-ceramics* yang sangat keras (McCollister, 1977). Pembentukan *glass-ceramics* dari batuan basalt juga ditunjukan pada penelitian Karamanov *et al* .,(2008), yang menyatakan bahwa suhu sintering 1.100$^{o}$C pada batuan basalt memiliki karakteristik *zero water absorption*, dan volume porositas antara 8 – 9 %, dan struktur yang terbentuk adalah *glass-ceramics*.

Material *glass-ceramics* ini memiliki karakter mekanika seperti kekuatan *bending* sebesar 100 MPa dan modulus *Young* sebesar 90 GPa (Karamanov *et al*., 2009).

Gambar 1. Batuan basalt

## 2. 2. *Glass - Ceramics*

Ilmu pengetahuan dan teknologi selalu terus berkembang untuk menemukan material dengan karakteristik yang khusus untuk memperoleh kemajuan inovasi yang memuaskan. Material baru selalu dicari untuk memperoleh kerja yang lebih cepat, ekonomis serta menguntungkan, dan lebih baik dalam kualitas untuk meningkatkan kualitas hidup manusia secara umum, terutama dalam bidang kedokteran atau kesehatan. Salah satu material yang menjadi perhatian di bidang kedokteran, baik kedokteran bidang implan tulang manusia ataupun kedokteran gigi yaitu material *glass-ceramics*.

*Glass-ceramic*s menawarkan kemungkinan untuk menggabungkan sifat khusus dari keramik sinter konvensional dengan karakteristik khas kaca. Namun demikian,

dimungkinkan untuk mengembangkan bahan *glass-ceramics* modern dengan fitur yang tidak diketahui sejauh ini baik dalam keramik atau gelas atau dalam bahan lain seperti logam atau polimer organik. Lebih jauh lagi, pengembangan *glass-ceramic*s menunjukkan keunggulan menggabungkan berbagai sifat luar biasa dalam satu bahan.

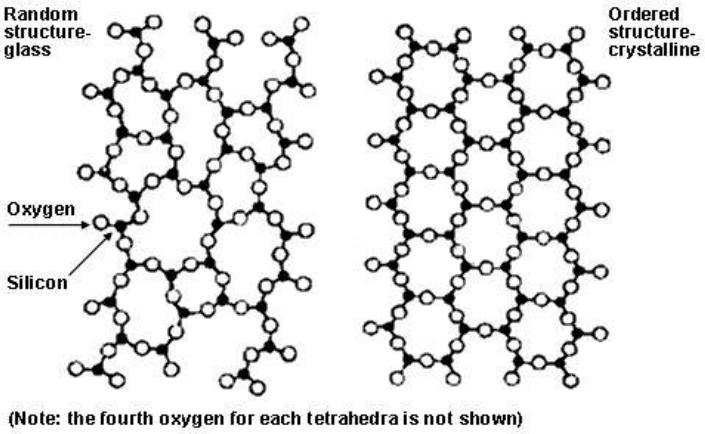
Penemuan *glass-ceramics* berawal sejak tahun 1739, dimana Reamur dan beberapa peneliti lain berfikir bahwa keramik padat dapat dibuat melalui kristalisasi benda-benda kaca. Namun baru pada tahun 1950an, penemuan *glass-ceramics* secara tak terduga ditemukan oleh S. D. Stookey. Stookey merupakan seorang ahli kimia dan penemu kaca terkenal yang tidak tertarik tentang keramik. Pada suatu ketika, ia melakukan proses presipitasi partikel perak di dalam wadah kaca. Ia mempelajari komposisi lithium silikat sebagai gelas karena ia menemukan bahwa perak dapat diendapakan secara kimiawi di dalam gelas alkali silikat. Ia biasanya memanaskan kaca tepat di atas suhu transisi kaca yaitu sekitar 450$^{o}$C. Suatu malam secara tidak sengaja tungku mengalami *over heating* hingga 850$^{o}$C dan terekam pada pengamatan termal, ia berharap menemukan genangan kaca yang meleleh. Anehnya, yang diperolehnya adalah material putih yang tidak berubah bentuk. Dia segera mengenali bahwa material tersebut adalah keramik yang tidak menunjukkan distorsi dari benda kaca aslinya. Peristiwa kebetulan kedua kembali terjadi. Secara tidak sengaja ia menjatuhkan sampel tersebut dan suaranya lebih mirip logam dibandingkan kaca. Ia kemudian menyadari bahwa keramik yang ia hasilkan memiliki kekuatan yang luar biasa. Saat merenungkan peristiwa tersebut, Stookey menyadari bahwa kristal lithium aluminosilikat memiliki karakteristik ekspansi termal yang mendekati nol. Ia menyadari bahwa jika bisa melakukan proses nukleasi ini dalam koefisien fase ekspansi termal rendah dengan cara yang sama, penemuan ini akan jauh

lebih berarti. *Glass-ceramics* yang kuat dan tahan guncangan termal kemudian dikembangkan secara komersial dalam satu atau dua tahun sebagai produk terkenal seperti kerucut ujung roket dan peralatan memasak *corningware* (Holand & Beall, 2002).

*Glass-ceramic*s merupakan material polikristalin berbutir halus yang dihasilkan oleh kristalisasi terkontrol pada fasa *glass* (Rawlings *et al*., 2006). Biasanya g*lass-ceramic*s tidak sepenuhnya berbentuk kristal, dari pengamatan mikrostruktur biasanya terdiri dari 50 hingga 95% kristal dengan sisanya merupakan *glass*. Satu atau lebih fasa kristal dapat terbentuk selama perlakuan panas dan biasanya komposisi berbeda terhadap *precursor glass*. Kristalisasi atau devitrivikasi *glass* untuk membentuk *glass-ceramics* merupakan transformasi heterogen, dengan demikian pembentukan *glass-ceramics* tersebut terdiri dari dua tahapan yaitu tahap nukleasi dan tahap *growth stage*. Pada tahap nukleasi, volume stabil kristal fasa kecil terbentuk. Biasanya terbentuk pada lokasi inti *glass*. Letak volume stabil kristal ini biasanya pada daerah inti *glass* atau pada permukaan bebas. Apabila terjadi pada permukaan bebas, hal ini tidak disukai karena akan menghasilkan mikrostruktur *glass-ceramics* yang terdiri dari kristal berorientasi besar yang akan mengurangi sifat mekanis. Namun dalam beberapa kasus khusus, struktur berorientasi ini sangat menguntungkan misalnya *glass-ceramics* yang digunakan sebagai *piezoelectric* dan *piroelectric* dan *glass-ceramics* mampu mesin (Rawlings *et al.*, 2006).

Ciri-ciri struktur *glass-ceramics* yaitu ditandai dengan kristal yang berbutir halus dan berorientasi acak dengan beberapa fasa *glass* sisa, tanpa lubang, retakan mikro atau porositas (Salama et al., 2002). Berbeda dengan fasa kaca dan keramik secara umum. *Glass* merupakan produk anorganik, amorf, terbuat dari lelehan yang didinginkan secara cepat. *Glass* umumnya transparan dan sangat getas (ketika tidak diperlakukan panas). Transparansi ini terjadi akibat dari kurangnya batas butir dan pori-pori dalam struktur *glass*. Tidak adanya batas butir ini juga menyebabkan kerapuhan karena retakan dapat menyebar tanpa hambatan. Karakteristik lain dari *glass* adalah strukturnya yang tidak teratur, yaitu atom dan molekul tersusun secara acak. Hal ini dapat dibuktikan dengan analisis difraksi *x-ray (X-RD)* dimana *glass* tidak akan menampilkan puncak yang jelas. Sedangkan bahan kristal lain menunjukkan keteraturan dalam strukturnya dan umumnya akan menghasilkan puncak yang terdefinisi dengan baik saat dianalisis dengan x-rd (Azo Materials, 2010). Kurangnya kristalinitas dalam strukturnya menyebabkan *glass* sebagai *amorf* atau *vitreous*.

Perbedaan struktural antara *glass* dan keramik pada skala atom diperlihatkan pada Gambar 2.




Gambar 2. Perbedaan struktur atom kaca dengan keramik

Meskipun *glass* silika memiliki komposisi yang sama dengan kuarsa (silika terkristalisasi) namun dalam kaca, blok penyusun ($SiO_4$ *tetrahedra*) disusun secara acak, sedangkan kristal silika memiliki struktur yang sangat teratur. Hal ini memungkinkan untuk mengubah *glass* menjadi keramik dengan memanaskannya kembali. Pemanasan kembali ini bertujuan untuk penataan ulang dari struktur acak ke teratur dan struktur teratur lebih stabil daripada yang tidak teratur. Bahan awalnya yang dibuat sebagai *glass* dan dirubah menjadi keramik untuk meningkatkan sifatnya disebut sebagai *glass-ceramic*s (twi.co.uk, 2020). Material *glass-ceramic*s dibentuk menggunakan proses yang sama yang berlaku pada pembuatan *glass*. Untuk mengubahnya dari bahan *glass vitreous* menjadi bahan *glass-ceramic*s, harus diberi perlakuan panas atau devitrifikasi. Devitrifikasi dapat terjadi secara spontan selama pendinginan atau proses pemanasan tetapi paling sering digabungkan untuk menghasilkan *glass-ceramics*. Ini melibatkan pemanasan pada suhu yang cukup tinggi untuk merangsang kristal berinti di seluruh kaca. Temperatur kemudian ditingkatkan yang menginduksi nuklei, membentuk kristal pada *glass* yang tersisa. Nukleasi membutuhkan sejumlah atom kritis yang

berkumpul membentuk inti. Ketika inti mencapai ukuran kritis, nukleasi terjadi. Dalam banyak komposisi *glass*, nukleasi terhambat oleh adanya silika yang sangat kental sehingga menyulitkan atom yang dibutuhkan untuk menyatu. Komposisi kristal juga bisa rumit sehingga nukleasi menjadi sulit. Faktor-faktor ini membantu pembentukan dan pendinginan kaca tanpa kristalisasi. Perlakuan panas devitrifikasi harus dikontrol secara hati-hati untuk memastikan jumlah maksimum inti yang terbentuk di seluruh struktur.

Beberapa komposisi kimia yang terdapat pada material pada pembuatan *glass-ceramic*s memungkinkan menjadi agen nukleasi. Agen nukleasi diantaranya adalah $TiO_2$ dan $ZrO_2$, $P_2O_5$, dan beberapa fluorida.

Komposisi *glass-ceramics* dikelompokkan menjadi tiga bagian utama yaitu:

1) LAS. Merupakan campuran lithium, aluminium, dan silikon okside ($Li_2O$-$Al_2O_3$-$SiO_2$) dengan agen pembentuk *glass* lainnya seperti $Na_2O$, $K_2O$, dan CaO.
2) MAS. Merupakan gabungan magnesium, aluminium, dan silikon okside ($MgO$-$Al_2O_3$-$SiO_2$) dengan agen pembentuk glass.
3) ZAS. Merupakan gabungan zinc, aluminium, dan silikon oksidi ($ZnO$-$Al_2O_3$-$SiO_2$) dengan agen pembentuk glass.

Bahan *glass-ceramics* memiliki sejumlah karakteristik luar biasa dibandingkan dengan keramik dan g*lass* tradisional yang membuat *glass-ceramic*s disukai untuk diaplikasikan

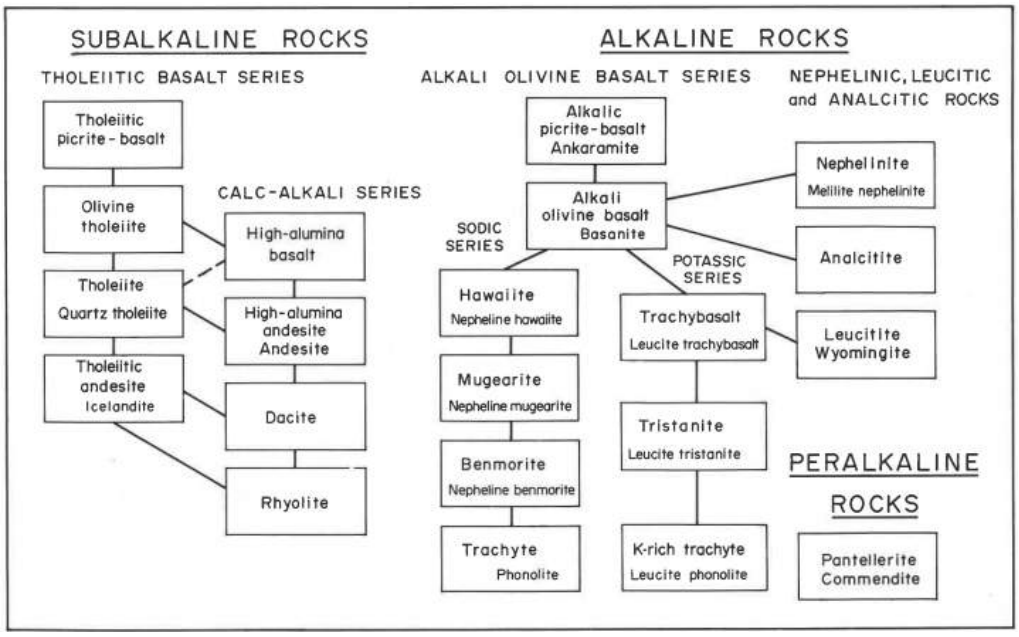
sebagai material tahan aus dan tahan korosi dalam teknologi canggih serta dalam elektronik dan kedokteran (Yilmaz *et al*., 2006).

## 2. 3. Basalt

### 2.3.1. Klasisfikasi batuan basalt

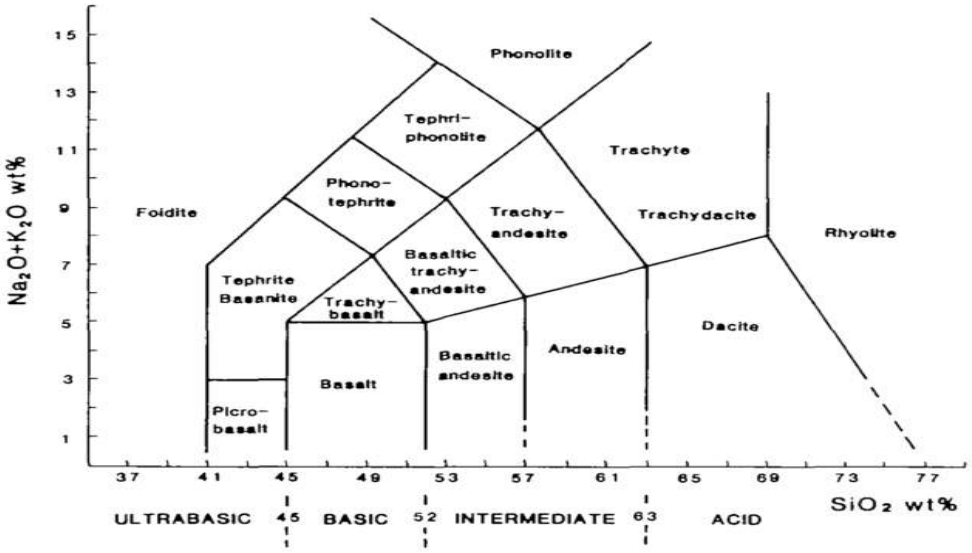
Basalt merupakan batuan beku vulkanik, yang berasal dari hasil pembekuan magma berkomposisi basa di permukaan atau dekat permukaan bumi. Biasanya membentuk lempeng samudera di dunia. Biasanya berwarna abu-abu menjadi hitam dan halus karena pendinginan yang cepat dari lava pada suhu permukaan.

Menurut Ergul *et al*., (2007), batuan basaltik dikelompokkan berdasarkan perbandingan kandungan ($SiO_2$ + $Al_2O_3$)/($Na_2O$ + $K_2O$), dan yang paling umum adalah *tholeiite* dan alkali basalt. Kelompok *tholeiite* merupakan silika jenuh sedangkan pada kelompok alkali basalt merupakan silika tak jenuh (Ergul *et al*., 2007). Tipe pertama sering digunakan dalam industri seperti pada industri limbah nuklir dan untuk vitrifikasi limbah berbahaya lainnya. Kelompok yang kedua dicirikan dengan suhu leleh yang lebih rendah dan viskositas yang lebih rendah dan lebih sesuai digunakan untuk industri keramik (Ergul et al., 2007). Secara garis besar pembagian kelompok batuan alkali terdiri dari subalkaline *(tholeiitic)* dan alkaline, seperti ditunjukkan pada Gambar 3 berikut.




Gambar 3. Klasifikasi secara umum batuan vulkanik (Ergul *et al*., 2007).

Bas *et al*., (1986), mengelompokkan batuan beku berbasis pada non-genetik menggunakan diagram alkali total *(TAS)*. Diagram dibagi menjadi 17 kelompok nama yang dipisahkan berdasarkan komposisi kimia. Berdasarkan Gambar 4, pada sumbu y menunjukkan total komposisi $Na_2O$ + $K_2O$ dalam persen berat dan sumbu x menunjukkan komposisi $SiO_2$ dalam persen berat (Bas *et al*., 1986).




Gambar 4. Diagram Total alkali-silica (TAS) (Bas *et al*., 1986).

Potensi penggunaan basalt saat ini telah berkembang dengan pesat. Basalt tidak hanya digunakan sebagai bahan bangunan dalam bentuk agregat ataupun batu pondasi. Namun basalt telah berkembang menjadi batuan yang digunakan pada material maju. Ketersediaan batuan basalt yang melimpah dan proses batuan basalt menjadi material maju yang relatif lebih murah dibandingkan dengan material lain telah membuat basalt menjadi salah satu material yang banyak dilakukan penelitian. Beberapa fungsi basalt sebagai material maju yaitu basalt *fiber* atau serat basalt. Serat basalt mampu bertahan dari panas dan tahan terhadap kimia. Serat basalt telah banyak menggantikan serat kaca atau *glass fiber*.

Berikut ini beberapa penjelasan produk basalt sebagai material maju:

1) *Cast basalt*

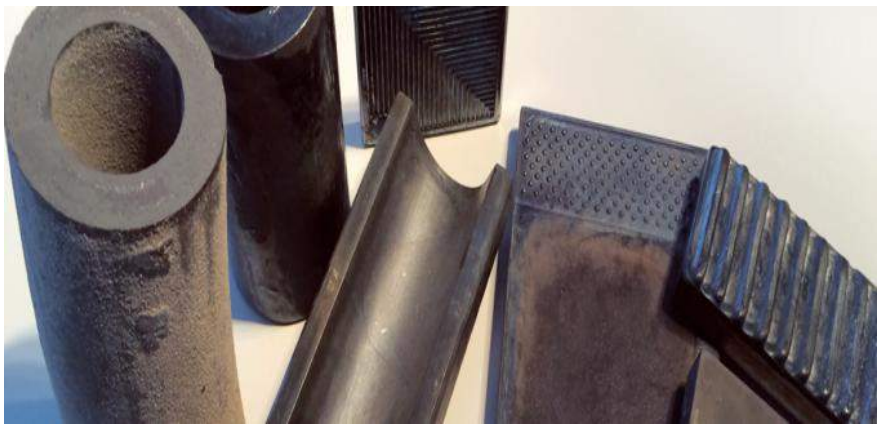
   *Cast basalt* memiliki sifat anti korosi, anti aus, kekerasan yang baik dan stabilitas kimia yang tinggi. Basalt lebur pada temperatur tinggi sekitar 1.250$^{o}$C

hingga 1.600$^{o}$C. Peleburan basalt biasanya menggunakan tungku tegak yang kemudian dituang ke dalam bentuk cetakan yang diinginkan seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5.

Gambar 5. Basalt lebur menggunakan tungku tegak (BPTM – LIPI, 2019).

Tungku tegak adalah tungku berbentuk silinder yang diletakkan secara vertikal, dimana di dalam silinder tersebut dilapisi olah suatu material/ bata tahan api sebagai ruang kerja untuk melebur atau memanggang bahan/ material dimana energi yang digunakan berupa panas yang dihasilkan dari pembakaran bahan bakar. Proses perolehan panas dapat terjadi di dalam tungku tersebut atau melalui pembakaran eksternal dimana produk pembakaran panas yang dihasilkan dihembuskan ke dalam tungku melalui suatu lubang udara yang dinamakan *tuyere*.

Pada industri yang membutuhkan ketahanan korosif terhadap bahan kimia dan juga ketahanan aus akibat beban pemakaian *cast basalt* digunakan pada *lining* di pipa, tangki penyimpanan bahan baku (silo), *lining feed conveyor* seperti yang ditunjukkan pada Gambar 6.



Gambar 6. Produk *cast* basalt.

2) Komposit

Basalt serbuk yang memiliki keunggulan tahan korosi, kekuatan tarik tinggi dan kekerasan yang cukup tinggi sering digunakan sebagai penguat pada komposit (*reinforcement/ filler*). Pemanfaatan ini seperti yang telah dilakukan oleh Hendronursito *et al*. (2020), digunakan pada *filler AMCs.* Hasil penelitian tersebut menunjukkan adanya kenaikan kekerasan yang signifikan hingga dua kali lipat dibandingkan tanpa *filler* serbuk basalt (Hendronursito *et al.*, 2020). Basalt juga memilik sifat pozolan yang sangat cocok digunakan pada material semen mortar (Amin *et al.*, 2019).

3) Serat basalt

Teknologi proses pengolahan batuan basalt menjadi serat terdiri dari tahapan-tahapan utama yaitu; preparasi bahan baku; tahap peleburan batuan di dalam tungku; tahap pemintalan (*spinning*); dan tahap pendinginan. Jika dibandingkan dengan pembuatan *carbon fiber* dan *glass fiber*, teknologi pembuatan serat basalt relatif lebih sederhana. Sedangkan pemanfaatannya sangat luas mulai dari dunia otomotif hingga penggunaan pada konstruksi bangunan seperti yang ditunjukkan pada Gambar 7.

Gambar 7. Pemanfaatan serat basalt di berbagai bidang.

Penggunaan serat basalt sebagai bahan kedap suara juga banyak digunakan. Penelitian di Rusia menyebutkan produk bata berbahan dari serat basalt secara kontinu yang diatur

dalam matriks polimer, menghilangkan penghubung dingin melintasi rongga dinding yang terisolasi. disebutkan bahwa ikatan dinding komposit basalt 70 kali lebih efisien secara termal daripada yang terbuat dari baja (Basalt.today, 2020).

### 2.3.2. Persebaran basalt di Indonesia

Potensi batuan basalt di Indonesia belum tergali dan termanfaatkan secara maksimal dibandingkan dengan negara-negara lain. Di Indonesia batuan basalt diambil dari dalam tanah dengan cara penambangan. Kegiatan penambangan batuan basalt ini merupakan pertambangan masyarakat yang dilakukan secara mandiri maupun korporasi. Batuan basalt hasil tambang ini biasanya dijual dalam bentuk batu pecah sebagai batu pondasi maupun batu split dengan berbagai ukuran split sesuai dengan permintaan pasar. Pengolahannya relatif sederhana, dimulai dari proses penambangan, penghancuran dan pengayakan. Produk yang dihasilkan hanya berdasarkan ukuran partikel batuan tersebut. Seperti batuan dengan ukuran besar digunakan sebagai batu pondasi. Dapat juga berupa batu split yang digunakan sebagai agregat pada proses pembuatan beton, dan ada juga yang berbentuk pasir, digunakan sebagai bahan campuran pada pembuatan aspal dan paving.

Contoh batuan basalt dari daerah Sukadana Lampung Timur seperti yang ditunjukkan pada Gambar 8.

Gambar 8. Batuan basalt Lampung Timur

Data cadangan basalt di Indonesia belum tersedia secara lengkap, baru di beberapa daerah yang sudah dilakukan penelitian. Dari Tabel 2 dapat diketahui bahwa sedikitnya terdapat 12.036 juta ton batuan basalt yang tersebar di Pulau Sumatera (1.310 Juta ton), Jawa (546 Juta ton), Pulau Kalimantan (4.138 Juta ton), dan Sulawesi (6.042 Juta ton) (Isnugroho *et al.*, 2018).

Tabel 2. Potensi Basalt di Indonesia (Isnugroho *et al*., 2018)

| **Daerah** | **Potensi (Juta Ton)** | **Keterangan** |
|---|---|---|
| Sumatera | 1.310,00 | Tersebar di Provinsi Aceh, Sumatera Barat, Bengkulu, Lampung |
| Jawa | 546,77 | Tersebar di Provinsi Jawa Timur, Jawa Tengah, Jawa Barat |
| Kalimantan | 4.138,29 | Tersebar di Kalimantan Barat, Kalimantan Selatan |
| Sulawesi | 6.042,02 | Tersebar di Provinsi Sulawesi Barat dan Sulawesi Utara |

Selain sebagai bahan bangunan di bidang konstruksi, ternyata batuan basalt memiliki potensi kegunaan yang cukup penting diberbagai bidang industri. Batuan basalt dapat digunakan pada industri penerbangan, otomotif, perkapalan, pertambangan, militer, metalurgy, pertanian, dan lain-lain. Batuan basalt dapat digunakan menjadi bahan baku untuk pembuatan material yang dibutuhkan oleh industri tersebut. Batuan basalt diolah terlebih dahulu dengan teknologi proses tertentu agar dapat digunakan sebagai bahan baku atau bahan antara pada material baru diberbagai industri tersebut. Bentuk produk-produk yang diharapkan dari batuan basalt agar bernilai lebih diantaranya adalah *basalt fiber* dan *basalt cas*t (HHT Services inc, 2020).

Persebaran batuan basalt Pulau Sumatera merupakan produk gunung api banyak dijumpai di daerah Sipongi (Mandailing Natal, Sumatera Utara), Silungkang (Sawahlunto, Sumatera Barat) (Zulkarnain, 2001).

Menurut badan geologi kementerian ESDM, basalt banyak dijumpai di Lampung Timur, di daerah-daerah Desa Rajabasa Batanghari, Kec. Sukadana, Desa Asem Kamal, Kec. Sukadana, Daerah Irigasi Way Curup, Desa Rajabasa Baru, Kec.Mataram Baru, Desa Nyampir, Kec. Bumi Agung, Desa Tanjung Harapan, Kec. Marga Tiga, Desa Negeri Katon, Kec. Marga Tiga, Desa Negeri Agung, Kec. Marga Tiga, Desa Bunguk, Kec.Jabung, Desa Mataram Baru, Kec. Mataram Baru dan Ds. Nibung, Kec. Labuhan Maringgai. Sumber daya basalt di Propinsi Lampung diperkirakan lebih dari 18 juta ton. Pada satuan Basal Sukadana (Bs), berupa aliran lava basal, pejal berwarna kelabu tua kehitaman, bagian atasnya banyak mengandung lubang gas, mengandung *xenolit*e

berupa basal berlubang gas (vesikular), mengalami pelapukan mengulit bawang (Kusdarto dkk., 2006).

### 2.3.3. Basalt *Glass-Ceramics*

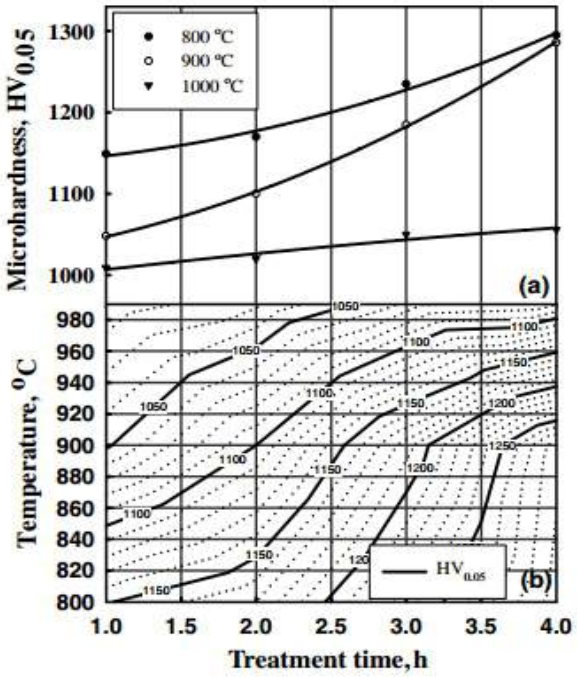
Pembuatan *glass-ceramics* berbahan baku batuan basalt telah banyak dikembangkan. Basalt dengan kandungan Si, Mg, Ca, Al, dan unsur lainnya membentuk fasa kristalin *glass-ceramics*.

Atez *et al*., (2017), melakukan penelitian basalt *glass-ceramic*s dengan perlakuan panas berupa pemanasan hingga suhu *melting* 1.500$^{o}$C, kemudian dilakukan pendinginan secara cepat di dalam air dingin. Pembuatan *glass-ceramics* ini digunakan sebagai material pelapis *Solid Oxide Fuel Cells (SOFCs)*. Pada penelitian ini dimaksudkan menggunakan penurunan temperatur *sintering* dari pelapis *glass-ceramics*. Beberapa bahan tambah *alkaline oxides* menyebabkan penurunan temperatur karakteristik dari *glass* dan kemudahan proses peleburan (Ateş *et al*., 2017).

Pembentukan *glass-ceramics* dari batuan basalt juga dilakukan oleh Yilmaz *et al*., (2006). Perlakuan panas batuan basalt berupa pemanasan dengan variasi temperatur 800 $^{o}$C, 900 $^{o}$C, dan 1.000 $^{o}$C selama 60, 120, 180, dan 240 menit (Yilmaz *et al*., 2006). *Glass-ceramics* ini digunakan sebagi material pelapis *AISI 1040* menggunakan teknik *plasma spray*. Penggunaan metode *plasma spray* ini bertujuan untuk membentuk keramik berbasis oksida kristal yang sesuai untuk pembentukan *glass*. Pembentukan

struktur kaca *amorf* diperlukan untuk membuat *glass-ceramics* sebelum adanya perlakuan panas kristalisasi.

*Differential Scanning Calorimetry (DSC)* terhadap *glass-ceramics* yang terbuat dari basalt menyiratkan setidaknya terdapat dua fasa kristal yang berbeda terbentuk selama perlakuan panas. Dari pengujian X-RD diperoleh bahwa perlakuan panas 800, 900, dan 1.000 $^{o}$C selama 2 jam membentuk fasa kristal *augite* [(CaFeMg)-$SiO_3$], *diopside* [$Ca(Mg_{0.15}Fe_{0.85})(SiO_3)_2$], dan *aluminian-diopside* [Ca(Mg,Al) $(Si,Al)_2O_6$]. Fasa *diopsidic-augite* ini memberikan sifat tahan aus superior dan ketahanan kimia. Dijelaskan bahwa pembentukan *glass-ceramics* berbasis batuan basalt tidak membutuhkan agen nukleasi karena adanya oksida FeO dan $Fe_2O_3$. Dikatakan bahwa FeO dan $Fe_2O_3$ dalam basalt teroksidasi menjadi $Fe_3O_4$ yang bertindak sebagai agen nukleasi dan tempat terbentuknya pertumbuhan kristal. Analisa X-RD menunjukkan semakin tinggi suhu kristalisasi maka semakin panjang puncak *diopsidic-augite*. Hal ini mengindikasikan bahwa peningkatan suhu perlakuan panas mengarah pada pembentukan sejumlah besar fasa kristal pada *glass* (Yilmaz *et al*., 2006).. Kekerasan mikro *glass-ceramics* yang diperoleh menunjukkan adanya peningkatan kekerasan mikro seiring dengan lama waktu tahan sintering seperti yang ditunjukkan pada Gambar 9.




Gambar 9. Kekerasan basalt *glass-ceramics* terhadap waktu kristalisasi dan temperatur (Yilmaz *et al.,* 2006).

Kekerasan mikro basalt *glass-ceramics* berada diantara 1.009 hingga 1.295 $HV_{0.05}$ terhadap lama proses dan suhu. Semakin rendah suhu kristalisasi dan semakin lama waktu perlakuan maka semakin keras lapisan *glass-ceramics* berbahan dasar basalt. Kekerasan *glass-ceramics* sedikit menurun karena adanya deformasi dan pertumbuhan butir fasa kristal dengan meningkatnya suhu perlakuan panas.

Matovic *et al*., (2002) menggunakan material basalt lokal dari Gunung Kopaonik sebagai material *glass-ceramics*. Fenomena pembentukan kristalisasi *glass* dipelajari menggunakan analisa fasa uji X-RD, mikroskop optik dan beberapa teknik lainnya. Pada penelitian ini beberapa percobaan perlakuan panas dilakukan beserta pengaruhnya di dalam mengontrol mikrostruktur dan sifat dari produk. Perlakuan panas yang

digunakan yaitu dengan melebur batuan basalt di dalam sebuah ladel pada rentang temperatur 1.250 hingga 1.300$^{o}$C. Pembentukan kristal melalui pemanasan ulang pada temperatur 950, 1.000, dan 1.050$^{o}$C selama 3 hingga 8 jam. Hasil dari pengamatan pembentukan fasa diperoleh fasa *Diopside* $CaMg(SiO_3)_2$ dan *Hypersthene* ((Mg, Fe,)$SiO_3$) sebagai fasa kristalin. Ukuran kristal yang terbentuk pada rentang 8 hingga 480 μm. Kekerasan mikro 6,5 hingga 7,5, kuat tekan antara 2000 – 6300 kg/cm$^2$ dan ketahanan aus antara 0,1 hingga 0,2 g/cm$^2$ (Matovic *et al*., 2003).

Penggunaan basalt *glass-ceramics* sebagai *filler* penguat pada komposit HAp terhadap kemungkinan bahaya penggunaan di dalam tubuh manusia telah dilakukan beberapa penelitian keamanan dan ketahanan tubuh terhadap material tiruan yang diimplan. Bahkan penggunaan basalt di dunia medis telah banyak dibuat sebagai material yang diperjual belikan. *Service-Disabled Veteran-Owned Small Business (SDVOSB)*, melalui *READE* yang memproduksi material maju, salah satunya adalah basalt, menyebutkan bahwa produk basalt tidak menimbulkan reaksi racun terhadap air atau udara, tidak mudah terbakar dan meledak, ketika bersentuhan dengan bahan-bahan kimia basalt tidak menghasilkan reaksi kimia yang dapat merusak kesehatan dan lingkungan (SDVOSB, 2018). Boshytska *et al.,* (2016), melakukan penelitian stabilitas fisik dan kimia dari basalt serbuk (BS) terhadap lingkungan biologi. Dalam penelitiannya membuat komposit dari serbuk HAp dengan ditambahkan Basalt sebanyak 5 dan 10% *wt* basalt terhadap HAp. Serbuk kemudian dilakukan pengadukan dan dipres untuk selanjutnya dilakukan proses *sintering*. Suhu *sintering* yang dipilih yaitu 700, 900, dan 1.200 $^{o}$C. Spesimen berdasarkan komposisi adalah: HAp + 5% BS @ 700 $^{o}$C; HAp +

10% BS @ 700 $^{o}$C; HAp + 5% BS @ 900 $^{o}$C; HAp + 10% BS @ 900 $^{o}$C; HAp + 5% BS @ 1.200 $^{o}$C; HAp + 10% BS @ 1.200 $^{o}$C. Cairan dibuat sebagai pengujian lingkungan biologis yaitu 0,9% NaCl *solution* (9 g/l NaCl, pH 6.7); *Ringer's solution* (8.6 g/l NaCl; 0.3 g/l KCl; and 0.33 g/l $CaCl_2$); *Ringer–Lockes solution* (9.0 g/l NaCl; 0.2 g/l $NaHCO_3$; 0.2 g/l $CaCl_2$; 0.2 g/l KCl; and 1 g/l *glucose*).

Perubahan komposisi fase sistem serbuk HAp + BS dengan kandungan BS berbeda sebelum dan sesudah interaksi dengan lingkungan biologis diperiksa pada komposisi setelah perlakuan panas. Fase utama sistem HAp + BS, yang merupakan bagian dari komposisi BS, adalah $Ca_5(PO_4)_3OH$ dengan jumlah fase-X yang tidak signifikan ($Fe_3O_4$ dengan campuran kecil fase oksida besi lainnya) dan fase amorf silikon. Pada semua suhu anil campuran serbuk sistem komposit, pola difraksi sinar-X dari serbuk awal tidak mengidentifikasi apa-apa, kecuali fase HAp dan oksida besi. Komposisi fase semua sampel yang diberi perlakuan panas pada temperatur <900°C tidak berubah setelah interaksi dengan lingkungan yang dipelajari. Fase utama dari sistem komposit HAp + BS adalah $Ca_5(PO_4)_3OH$ dan jumlah fase-X yang tidak signifikan. Dengan meningkatkan kandungan BS hingga 10% dan temperatur *anneal* hingga 900°C, garis-garis fase-X yang merupakan bagian dari BS menjadi lebih jelas. Dari penelitian ini disimpulkan bahwa interaksi sistem komposit HAp dengan 5 dan 10% BS hampir sama. Terbukti bahwa sistem komposit HAp + 10% BS (t = 900$^{o}$C) merupakan material yang menjanjikan untuk bedah rekonstruktif, mengingat sifat kekuatannya (kekerasan *Vickers* 0.86 GPa; modulus elastisitas 23.7 GPa), yang mendekati sifat tulang alami. Telah ditetapkan bahwa sistem komposit HAp + 10% BS (t = 900$^{o}$C) adalah kombinasi

paling optimal antara stabilitas fisik dan kimia dengan sifat mekanik dan menjanjikan untuk aplikasi lebih lanjut dalam praktik medis. Dari penelitian tersebut disimpulkan bahwa BS aman terhadap lingkungan kehidupan organisme (Boshytska *et al*., 2017).

Penelitian yang dilakukan Kaplunenko *et al.,* (2016), membuat dan menguji fisis dan mekanis komposit HAp berpenguat serbuk basalt. Parameter desain yang digunakan yaitu ukuran serbuk HAp (<200μm; 200 – 80μm; >80μm), persentase *w/t* basalt terhadap HAp (0%, 5%, 10%), suhu *sintering* (700, 800, 900, 950, 1.000, 1.070, dan 1.250$^{o}$C) dengan lama sinter 1 jam. Pengujian mekanis untuk menentukan kekerasan, *elastic stress*, rasio kekuatan terhadap modulus elastisitas, regangan, modulus elastisitas selama indentasi, serta pengujian *X-ray diffraction* (XRD) (Kaplunenko et al., 2016). Analisa hasil percobaan menunjukkan bahwa dengan penambahan 5% dan 10% serbuk basalt sebagai filler memberikan peningkatan pada sifat fisis dan mekanis produk HAp. Pada temperatur rendah sintesis terbentuk fasa β-TCP. Pembentuk fasa β-TCP dianggap lebih biocompatible dibandingkan fasa α-TCP. Kemungkinan untuk menyesuaikan rasio HAP - β-TCP sangat menjanjikan untuk memproduksi material dengan sifat bio-resorbing. Kuat tekan yang mampu diterima oleh komposit HAp- BS tertinggi diperoleh dari penambahan 5% basalt terhadap HAp sedangkan penambahan 10% basalt kekuatan menurun. Hal ini disebabkan oleh efek desakan partikel basalt efk ini terjadi karena kandungan BS yang signifikan memberikan dampak desakan karena ukuran partikel BS secara signifikan melebihi ukuran partikel HAp.

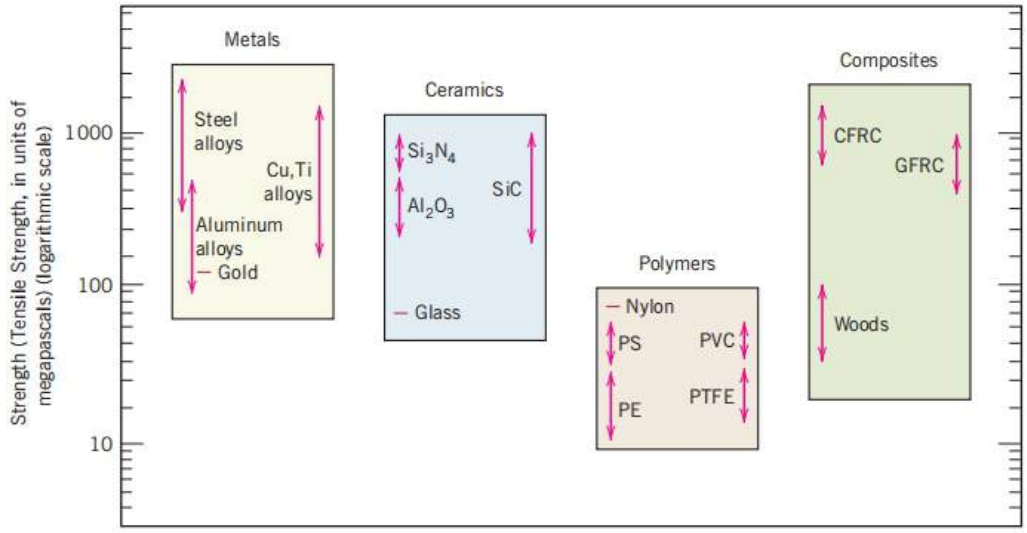
Pembuatan dan pengembangan *glass-ceramics* material dari *raw* material mampu meningkatkan sifat-sifat mekanis dan fisis, selain itu metode ini merupakan sekmen yang signifikan pada perkembangan dunia modern (Boshytska *et al*., 2017).

## 2. 4. Komposit *HAp-Glass Ceramics*

### 2.4.1. Komposit

Komposit terdiri dari dua atau lebih bahan yang berbeda, atau dicampur secara makroskopis. Komposit sendiri merupakan kata serapan yang berasal dari kata kerja *"to compose"* memiliki arti menyusun atau menggabungkan, sehingga komposit didefinisikan sebagai bahan dengan menggabungkan dua atau lebih bahan yang berlainan. Bahan komposit umumnya terdiri dari dua jenis yaitu bahan pengisi atau sering disebut *filler* dan material pembentuk utama atau disebut *matrix. Filler* biasanya terbuat dari serbuk atau *powder* dengan ukuran tertentu dalam mikron ataupun nano.

Menurut Callister & Wiley (2007) yang digambar oleh diagram batang kekuatan tarik berbagai material seperti logam *(metals),* keramik *(ceramics),* polimer *(polymers)*, dan komposit *(composites),* yang ditunjukkan pada Gambar 10 (Callister & Wiley, 2007).




Gambar 10. Diagram batang kekuatan tarik material logam, keramik, polimer, dan komposit (Callister & Wiley, 2007).

Gambar 10 memperlihatkan bahwa komposit memiliki rentang kekuatan tarik yang cukup luas mulai dari 20 MPa hingga 1.200 MPa. Kekuatan tarik komposit ini bahkan sama dengan beberapa kuat tarik yang dimiliki oleh logam. Kelebihan yang dimiliki komposit dibandingkan dengan logam pada kekuatan tarik yang sama yaitu komposit memiliki berat jenis yang lebih rendah sehingga memungkinkan untuk merekayasa material yang ringan namun memiliki kekuatan yang tinggi.

Berdasarkan fungsi komponennya komposit dibedakan menjadi dua jenis yaitu Matriks dan Pengisi *(filler)*. Matriks adalah fasa dalam komposit yang memiliki bagian atau fraksi volume terbesar (dominan).

Fungsi matriks antara lain sebagai berikut (Susanti, 2018):

a) Mentransfer tegangan ke serat secara merata
b) Melindungi serat dari gesekan mekanik
c) Memegang dan mempertahankan serat pada posisinya
d) Melindungi dari lingkungan yang merugikan
e) Tetap stabil setelah proses manufaktur

Matriks memiliki sifat - sifat sebagai berikut (Ellyawan, 2008):

a) Sifat mekanis yang baik
b) Kekuatan ikatan yang baik
c) Ketangguhan yang baik
d) Tahan terhadap temperatur

Gibson (1994), lebih lanjut menjelaskan bahwa matrik dalam struktur komposit dibedakan menjadi komposit matrik polimer *(Polymer Matrix Composites – PMCs)*, komposit matriks logam *(Metal Matrix Composites - MMCs),* dan keramik matrik komposit *(Ceramics matrix Composites - CMCs).* PMCs merupakan salah satu jenis matriks komposit yang sering digunakan, biasa disebut polimer berpenguat serat *(FRP – Fibre Reinforced Polymer or Plastics).* Komposit matriks polimer atau PMCs menggunakan suatu polimer berbahan resin sebagian matriknya dan suatu jenis serat seperti kaca, karbon dan aramid *(Kevlar)* sebagai penguatnya (Gibson, 1994).

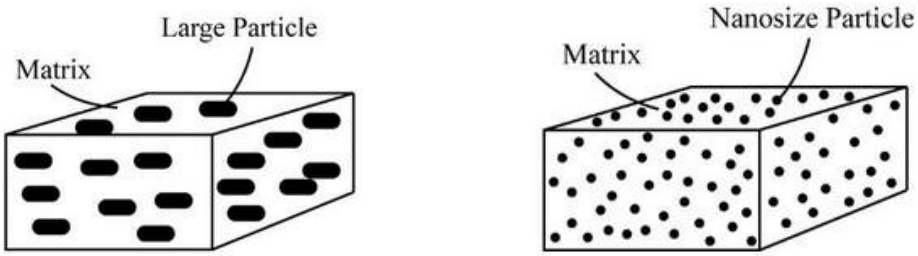
Pemilihan jenis matrik sangat penting sebagai bahan pengikat serat karena matrik harus mampu menghasilkan ikatan mekanik dengan *filler* berupa serbuk atau serat pengisinya sehingga tidak terjadi reaksi pada *interface*. Beberapa hal lainnya yang menjadi pertimbangan dalam memilih matriks adalah jenis, viskositas, kemampuan membasahi serbuk, tekanan dan suhu serta penyusutan dan *void* saat *curring.*

*Void* merupakan kekosongan yang terjadi pada *fiber* atau bahan pengisi tidak diikat secara sempurna oleh matrik, dimana *fiber* berfungsi menstransfer tegangan ke matrik, hal ini yang seringkali menjadi penyebab adanya retak atau crack, sehingga komposit yang dibuat tidak bekerja secara maksimal dalam kegunaan yang diharapkan. Komposit dengan kelonggaran udara akan memiliki banyak kekurangan dalam hasil penggunaannya.

Bahan pengisi komposit dapat berupa serbuk (partikel) maupun serat *(fiber)*. Penguat serbuk merupakan komposit yang diisi oleh *reinforcement* yang berbentuk partikel atau serbuk. Komposit ini memiliki beberapa keuntungan seperti dapat digunakan untuk meningkatkan kekuatan dan meningkatkan kekerasan material, memiliki kekuatan yang lebih seragam pada berbagai arah. Cara penguatan dan pengerasan oleh partikulat yaitu dengan menghalangi pergerakan dislokasi.

Komposit berpenguat partikel merupakan komposit yang dibuat dari matriks dengan penguat berbentuk partikel atau serbuk. Komposit berpenguat partikel dibedakan menjadi dua berdasarkan ukuran partikelnya yaitu *large* partikel atau partikel dalam

ukuran besar (mikron atau mm) dan partikel berukuran nano (nm), seperti yang ditunjukkan pada Gambar 11.




(a). *Large Particle* (b). *Nanosize Particel*

Gambar 11. Komposit berpenguat partikel (Egbo, 2020).

Dalam komposit berpenguat partikel besar, yang berukuran milimeter atau lebih, partikel berfungsi sebagai pembawa beban utama dan cenderung menahan deformasi matriks di sekitar permukaan. Sebaliknya, komposit berpenguat menggunakan partikel berukuran nanometer, tidak seperti komposit berpenguat partikel besar, matriks menanggung sebagian besar dari beban ketika dikenakan gaya tekan. Mekanisme penguatan dalam hal ini terjadi ditingkat atom dan melibatkan penghalangan propagasi garis dislokasi sepanjang matriks oleh partikel yang terdispersi.

### 2.4.2. Fraksi Massa Komposit

Proses pebuatan komposit diawali dengan perhitungan prosentase *filler* yang akan digunakan (Harris, 1999). Komposit HAp - *Glass-ceramics* akan dibuat dengan fraksi volume yang dihitung berdasarkan ukuran volume sampel yang akan dibuat. Untuk

memperoleh ukuran yang sama tiap sampel, maka digunakan fraksi volume untuk masing-masing parameter yang digunakan. Volume komposit HAp - *Glass-ceramics* adalah sebagai berikut:

$$V_C = \frac{1}{4} \pi D^2 t \quad (1)$$

Keterangan:

$V_C$ = Volume komposit ($cm^3$)

D = Diameter komposit (cm)

t = tinggi komposit (cm)

Untuk mengetahui massa tiap parameter diperlukan data densitas (ρ) masing-masing material yang digunakan. Massa komposit dihitung menggunakan persamaan (2) berikut ini.

$$m_c = (V\ x\ \rho)matriks + (V\ x\ \rho)filler\ + (V\ x\ \rho)penguat \quad (2)$$

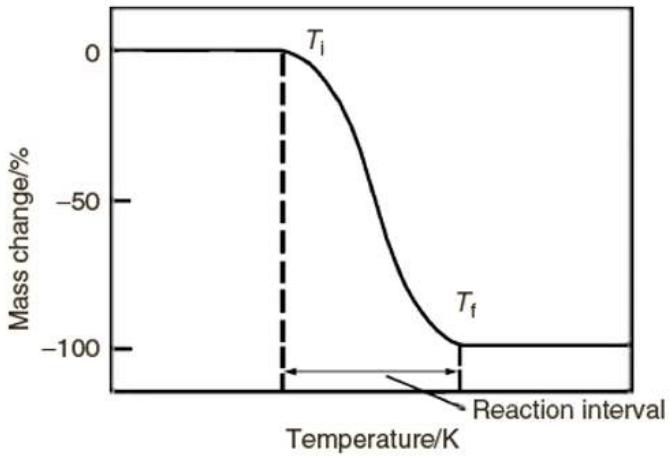
## 2. 5. Pengujian

### 2.5.1. *Thermal (TG/ DTA)*

*Thermal gravimetri analysis* (*TG*) dan *differential thermal analisis* (*DTA*) merupakan analisis *thermal* untuk mengukur sifat material sebagai fungsi temperatur. Pada

pengujian TG digunakan untuk memonitor perubahan massa terhadap temperatur. Sedangkan *DTA* memonitor perubahan phase material sebagai fungsi temperature.

Kurva *thermogravimetric (TG)* menunjukkan dekomposisi awal temperatur $T_i$ dan temperature akhir $T_f$, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 12. Bila dilihat pada grafik Gambar 12, $T_i$ hingga $T_f$ terjadi penurunan berat yang signifikan dikarenakan kehilangan air, unsur *volatile* dan karbon secara berurutan. Pada kondisi $T_f$ inilah material tidak mengalami perubahan massa yang berarti (perubahan massa konstan atau stabil).



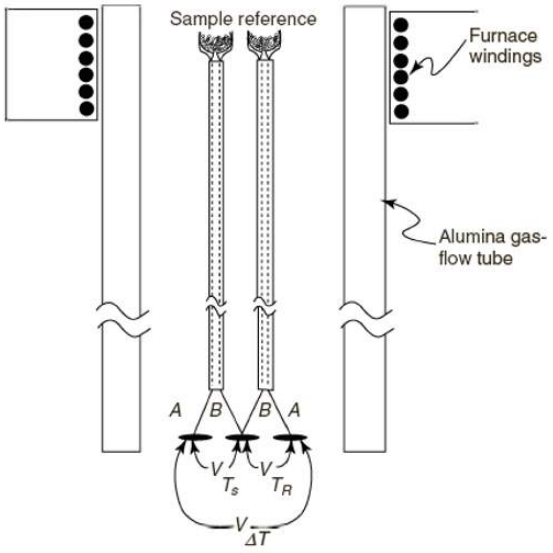

Gambar 12. Kurva TG

TG beroperasi dalam kondisi inert dengan mengalirkan gas nitrogen atau helium dengan memanaskan sampel (lebih disukai dalam keadaan serbuk) dengan laju konstan hingga mulai terdekomposisi dan terjadi *thermal even* perubahan fasa *solid* – transisi *glass* – *melting* – dekomposisi *thermal*. Perubahan *thermal* tersebut dapat dijelaskan sebagai berikut:

1) pada kondisi nol absolut, padatan tidak memiliki energi *thermal* sehingga atom dalam kondisi stabil. Tidak terjadi getaran atau rotasi ikatan atom,
2) ketika temperatur meningkat terjadi energi *thermal* yang bekerja pada padatan tersebut hingga menyebabkan getaran dan rotasi pada ikatan atom,
3) ketika getaran mencapai level puncak, diikuti oleh perubahan padatan yang mungkin terjadi jika padatan dalam ruang inert atmosphere (misalnya nitrogen),
4) dengan peningkatan temperature, ikatan antar atom menjadi lemah dan diikuti dengan pelepasan unsur tertentu dari padatan ke udara dan sebagian unsur akan membentuk jenis padatan baru. Contohnya adalah padatan $CaCO_3$ akan terdekomposisi dari bentuk padat menjadi CaO dan gas $CO_2$ dalam rentang temperatur tertentu.

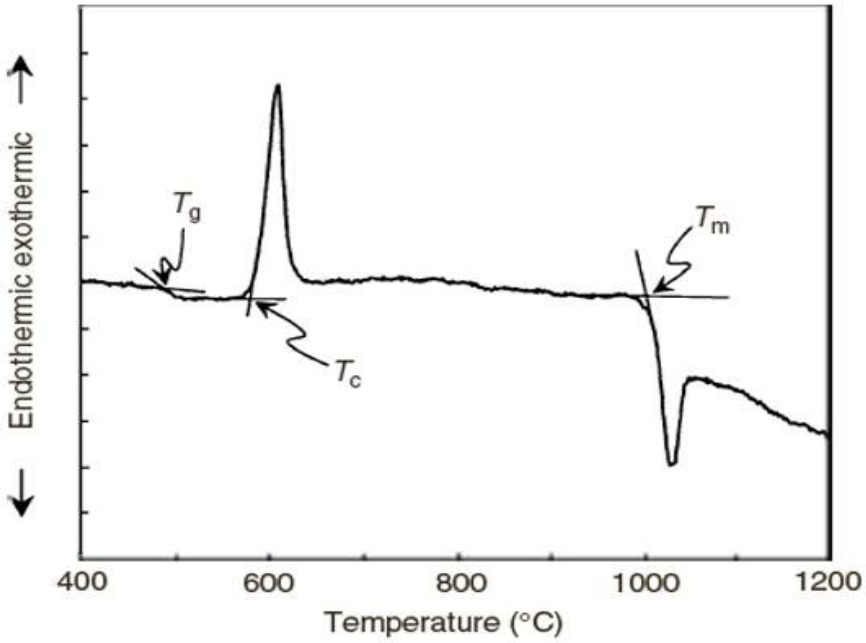
Pada pengujian DTA mengukur perbedaan temperatur antara sampel dengan material yang dirujuk. Perbedaan temperatur antara sampel dan material rujukan (ΔT) harus nol jika tidak ada reaksi kimia yang terjadi. Jika terjadi reaksi kimia maka *non zero* ΔT terjadi reaksi yang memerlukan panas *(endoterm)*, temperature sampel menjadi lebih rendah daripada temperature rujukan demikian juga sebaliknya ketika ΔT mengeluarkan panas *(exoterm)*, temperatur sampel menjadi lebih tinggi daripada temperatur material rujukan. Perbedaan kejadian *thermal* ini ditandai dengan tanda *negative*. ΔT *negative* jika terjadi *thermal endothermic* dan ΔT positif bila *thermal* yang terjadi *exothermic*.

Skema pengujian DTA seperti yang dtunjukkan pada Gambar 13. Vts dan Vtr merupakan tegangan *thermokopel* yang digunakan untuk mengukur sampel dan temperatur referensi.




Gambar 13. Instrumtasi pengujian DTA

Contoh kurva hasil uji DTA pada *glass-ceramics* ditunjukkan pada Gambar 14. Gambar 14 merupakan *glass-ceramic* ($Li_2O$-$Al_2O_3$-$6SiO_2$). Tg menunjukkan temperatur terjadinya transisi *glass*, Tc menunjukkan temperatur terjadinya transisi kristalisasi, dan Tm menunjukkan temperatur *melting*.




Gambar 14. Kurva DTA *glass-ceramics* ($Li_2O$-$Al_2O_3$-$6SiO_2$)

Dengan menggunakan kondisi temperatur lembah dan puncak yang terjadi pada pengujian thermal di atas maka dapat diperoleh beberapa parameter diantaranya (R Nowosielski and Babilas, 2010):

1) Rasio temperatur transisi pengurangan glass ($T_{rg}$) :

$$T_{rg} = T_x - T_g \qquad (3)$$

Dimana,

$T_x$ = Temperatur awal puncak kristalisasi (°C)

$T_g$ = Temperatur transisi *glass* (°C)

2) Temperatur interval ( $\Delta T_x$ ), yaitu interval temperatur transisi *glass* ($T_g$) dengan temperatur transisi awal ($T_x$). Parameter ini juga disebut *supercooled liquid region*. Semakin tinggi interval temperatur yang terbentuk maka semakin besar kemampuan pembentukan glass.

$$\Delta T_x = T_x - T_g \qquad (4)$$

3) Indikator pembentukan *glass* ($K_{gl}$), digunakan sebagai ukuran kecenderungan paduan pembentuk glass.

Dimana,

$T_m$ = Temperatur lebur (°C)

4) Parameter stabilitas (S)

$$S = \frac{(T_p - T_x)(T_x - T_g)}{T_g} \qquad (5)$$

### 2.5.2. Komposisi kimia *X-ray fluorescence (X-RF)*

Uji komposisi kimia menggunakan *X-ray fluorescence* (*X-RF*). Spektroskopi X-RF adalah teknik analisis unsur yang membentuk suatu material dengan dasar interaksi sinar-X dengan material analisa. Teknik ini banyak digunakan dalam analisa batuan

karena membutuhkan jumlah sample yang relatif kecil (sekitar 1 gram). Teknik ini dapat digunakan untuk mengukur unsur-unsur yang tertutama banyak terdapat dalam batuan atau mineral.

Sampel yang digunakan biasanya berupa serbuk hasil penggilingan atau pengepressan menjadi bentuk film yang banyak digunakan menggunakan beberapa prinsip. Apabila elektron dari suatu kulit atom bagian dalam dilepaskan, maka elektron yang terdapat pada bagian kulit luar akan berpindah pada kulit yang ditinggalkan tadi menghasilkan sinar-X dengan panjang gelombang yang karakteristik bagi unsur tersebut. Pada teknik difraksi sinar-X suatu berkas elektron digunakan, sinar-X dihasilkan dari tembakan berkas elektron terhadap suatu unsur di anoda untuk menghasilkan sinar-X dengan panjang gelombang yang diketahui. Peristiwa ini terjadi pada tabung sinar-X. Pada teknik XRF, kita menggunakan sinar-X dari tabung pembangkit sinarX untuk mengeluarkan electron dari kulit bagian dalam untuk menghasilkan sinar-X baru. Seperti pada tabung pembangkit sinar-X, elektoron dari kulit bagian dalam suatu atom pada sample analit menghasilkan sinar-X dengan panjang-panjang gelombang karakteristik dari setiap atom di dalam sample. Untuk setiap atom di dalam sample, intensitas dari sinar-X karakteristik tersebut sebanding dengan jumlah (konsentrasi) atom di dalam sample. Dengan demikian, jika kita dapat mengukur intensitas sinar –X karakteristik dari setiap unsure, kita dapat membandingkan intensitasnya dengan suatu standar yang diketahui konsentrasinya, sehingga konsentrasi unsur dalam sample bisa ditentukan. Instrumen yang digunakan untuk melakukan pengukuran tersebut dinamakan *X-Ray Fluorescence Spektrometer*. Peralatan ini terdiri dari tabung

pembangkit sinar-X yang mampu mengeluarkan electron dari semua jenis unsur yang sedang diteliti. Sinar-X ini yang dihasilkan harus berenergi sangat tinggi, sehingga anoda target dalam tabung pembangkit harus berupa unsure Cr, Mo, W, atau Au.

Pengujian komposisi kimia basalt sangat diperlukan untuk mengetahui kandungan-kangunan kimia yang terdapat di dalam batuan tersebut. Pengujian komposisi kimia menggunakan alat *X-ray fluorescence* (*X-RF*). Dari komposisi kimia ini dapat dianalisa untuk mengetahui jenis batuan basalt yang digunakan. Komposisi dominan seperti $SiO_2$, $Al_2O_3$, $Na_2O$, $K_2O$, dan $Fe_2O_3$ perlu diamati seperti yang Ergul *et al*., (2007) jelaskan dalam makalahnya yang berjudul *"Ceramic Material From Basaltic Tuffs"*. Dalam makalahnya, Ergul *et al*., (2007) membagi basalt menjadi dua kelompok secara umum yaitu *tholeiite* dan alkali basalt. Pembagian kelompok basalt ini berdasarkan terhadap rasio kandungan ($SiO_2$ + $Al_2O_3$)/ ($Na_2O$ + $K_2O$) (Ergul et al., 2007). Kandungan $Fe_2O_3$ pada basalt juga sangat berpengaruh terhadap sifat basalt glass seperti yang dijelaskan oleh Chen *et al*., (2020) dalam penelitiannya yang berjudul "*Effects of $Fe_2O_3$ Concentration on the Properties of Basalt Glasses*" (Chen et al., 2020). Dalam penelitiannya Chen menjelaskan bahwa besi oksida ($Fe_2O_3$) memiliki pengaruh yang besar terhadap sifat thermal dan elastisitas dari serat basalt. Pembuatan basalt serat ini memiliki tahapan melting seperti halnya pada pembuatan *glass-ceramics.* Sifat-sifat basalt *glass* diperiksa menggunakan pengujian densitas, volume molar (Vm), *oxygen packing Density (OPD)*, dan hasilnya menunjukkan peningkatan seiring dengan peningkatan kandungan $Fe_2O_3$. Viskositas serta perilaku kristalisasi didominasi oleh kandungan $Fe_2O_3$. Selain itu $Fe_2O_3$ juga berkontribusi terhadap peningkatan modulus

elastisitas dan kekerasan basalt. Selain itu, kehadiran $Fe_2O_3$ memiliki pengaruh terhadap kinerja *glass* seperti perubahan warna yang terjadi, ketahan kimia, nukleasi kristal, viskositas, sifat magnet, dan perubahan fasa. Kandungan $Fe_2O_3$ yang cukup tinggi dapat mempengaruhi temperatur tansisi *glass* (Tg) dan temperatur kristalisasi (Tp). Tg dan Tp akan menurun seiring dengan penambahan komposisi $Fe_2O_3$. Unsur MgO dan CaO merupakan oksida alkali tanah divalen yang umumnya berperan untuk mengatur struktur *glass* dan meningkatakan daya tahan kimia. Matovic *et al*., (2003), melakukan penelitian dan pengamatan komposisi kimia pada *glass-ceramics* yang dilakukan pemanasan pada tempratur 950, 1.000, dan 1.050$^oC$ setelah melalui proses melting pada temperatur 1.250 – 1.300$^oC$. Komposisi dominan batuan basalt yang digunakan adalah 49,33% $SiO_2$, 16,13% $Al_2O_3$ , 3,81 $Fe_2O_3$, dan 1,94% $TiO_2$. Kandungan $SiO_2$ sangat penting pada proses peleburan dan pengecoran karena viskositasnya yang lebih rendah. Penurunan viskositas disebabkan oleh kandungan $Fe_2O_3$, MgO, dan CaO yang tinggi. Kandungan alkali (6%) secara signifikan menurunkan suhu leleh. Meskipun kandungan $TiO_2$ dapat diabaikan, keberadaannya sangat penting karena sifat mineralisasi (Matovic *et al*., 2003).

### 2.5.3. Kristalografi (X-ray Diffraction)

*X-ray Diffraction* (*X-RD*) merupakan sebuah alat yang digunakan untuk memeriksa struktur kristal dari bahan atau zat yang halus. Dengan menggunakan metode yang mampu menganalisis jenis dan sifat mineral tertentu dengan melihat pola difraksi mineral yang dihasilkan. Metode analisis yang digunakan yaitu aplikasi *HighScore Plus database Cystallography Open Database (COD)* (Oktamuliani, 2016). Merupakan alat yang digunakan untuk mengidentifikasi adanya fasa kristalin di dalam material dan

untuk menganalisis sifat-sifat struktur (seperti *stress*, ukuran butir, fasa komposisi orientasi kristal, dan cacat kristal) dari tiap fasa (Dyah et al., 2018). Sinar-X terjadi ketika suatu bahan ditembakkan dengan elektron dengan kecepatan dan tekanan tinggi dalam tabung vakum. Elektron-elektron berasal dari filamen (anoda) dipercepat menumbuk target (katoda) yang berada dalam tabung sinar-X, sehingga elektron-elektron mengalami perlambatan. Sebagian energi kinetik elektron pada filamen diserahkan pada elektron target, mengakibatkan ketidakstabilan elektron. Keadaan tidak stabil akan kembali pada kondisi normal dalam waktu $10^{-8}$ detik sambil melepaskan energi kinetik elektron sebagai radiasi gelombang elektromagnetik dalam bentuk sinar yang disebut sinar-X primer.

Indentifikasi fasa kristal dilakukan dengan analisa difraksi sinar X dari sampel *glass-ceramics* dalam bentuk serbuk. Pembentukan fasa kristal sangat tergantung oleh komposisi dasar basalt. Khater *et al*., (2012), dalam penelitiannya memperlihatkan bahwa augit, anorthite, magnetit, olivine, dan kuarsa merupakan fasa kristal utama yang berkembang setelah perlakuan panas sampel *glass* pada temperatur 900$^{o}$C selama 3 jam. Peningkatan suhu pemanasan menjadi 1.100$^{o}$C selama 3 jam menunjukkan pola sinar x menjadi lebih eksplisit dan hampir mendekati konstitusi fase nominal. Menunjukkan adanya peningkatan intensitas dari garis *anorthite* dan disertai penurunan intensitas garis *augite* (Khater et al., 2012). Ercenk *et al*., (2018), melaporkan dalam penelitiannya fasa yang terbentuk pada pembuatan glass-ceramics berupa *diopside, augite, phlogopite, sanidine, fluorgopite.* Perbedaan fasa yang terbentuk ini dimungkinkan karena perbedaan perlakuan panas yang dilakukan selain karena adanya penambahan material

$MgF_2$ dan $K_2O$. Pada penelitian Ercenk *et al*., (2018), perlakuan panas dilakukan pada suhu 660, 760, dan 860$^oC$, dan pada temperatur yang lebih tinggi yaitu 975$^oC$ kristalisasi karakteristik fasa *glass-ceramics* berbasis basalt *augite* dan *diopside* terbentuk (Ercenk *et al*., 2018). Pengamatan pembentukan fasa pada *glass-ceramics* yang dilakukan pemanasan pada suhu 950, 1.000, dan 1.050 $^oC$ setelah melalui proses *melting* pada temperatur 1.250 – 1.300 $^oC$. Komposisi dominan batuan basalt yang digunakan adalah 49,33% $SiO_2$, 16,13% $Al_2O_3$ , 3,81% $Fe_2O_3$, dan 1,94% $TiO_2$. Fase yang terbentuk yaitu plagioklas, piroksen, amphibole, dan *glassy*. Jumlah plagioklas dan piroksen hampir identik sedangkan kandungan amphibole dan glassy sedikit. Dua fase piroksen terbentuk yaitu deopsidal dan *hypersthenic* (Matovic *et al.*, 2003).

### 2.5.4. Struktur Mikro *(SEM)*

Alat uji *SEM* digunakan untuk melihat struktur mikro basalt *glass-ceramics* maupun komposit yang dibuat. Merupakan instrument untuk mengkarakterisasi struktur kristal, ukuran kristal dari suatu bahan padat. Semua bahan yang mengandung kristal tertentu ketika dianalisa menggunakan *X-Ray Diffraction* akan memunculkan puncak – puncak yang spesifik.

Pengujian SEM dapat digunakan untuk mengetahui:

1) Topografi, yaitu ciri-ciri permukaan dan teksturnya (kekerasan, sifat memantulkan cahaya, dan sebagainya),
2) Morfologi, yaitu bentuk dan ukuran dari partikel penyusun objek (kekuatan, cacat pada *Integrated Circuit* (*IC*) dan *chip*, dan sebagainya),

3) Komposisi, yaitu data kuantitatif unsur dan senyawa yang terkandung di dalam objek (titik lebur, kereaktifan, kekerasan, dan sebagainya),
4) Informasi kristalografi, yaitu informasi mengenai bagaimana susunan dari butir-butir di dalam objek yang diamati (konduktifitas, sifat elektrik, kekuatan, dan sebagainya).

### 2.5.5. Kekerasan Mikro *(Vickers)*

Pengujian kekerasan suatu bahan digunakan secara mudah untuk mengetahui gambaran sifat mekanis. Pengujian dapat dilakukan pada material ulet dan getas. Material getas biasanya dilakukan pengujian kekerasan skala mikro dengan pemilihan daya tekan yang lebih rendah dibandingkan dengan material keras. Kekerasan sendiri menyatakan ketahanan terhaap deformasi dan merupakan ukuran ketahan suatu material terhadap deformasi plastik atau deformasi permanen (Dieter, 1987). Terdapat beberapa metode pengujian kekerasan yang sering digunakan yaitu: 1). Kekeraasn goresan *(scratch hardness)*; 2). Kekerasan lekukan (indentation hardness); 3). Kekerasan pantulan *(rebound).* Pada pengujian kekerasan metode lekukan antara lain yaitu: 1). Uji kekerasan brinell; 2). Uji kekerasan *rockwell;* 3). *Knoop*; 4). *Vickers*; dan lain sebagainya. Pada pengujian material yang getas dan rapuh digunakan pengujian vickers. Uji kekerasan vickers merupakan metode pengujian kekerasan yang menggunakan indentor berbentuk piramida intan yang dasarnya berbentuk bujur sangkar. Besarnya sudat antar permukaan piramida yang berhadapan adalah sebesar 136o. Angka atau nilai kekerasan pada pengujian ini sering disingkat sebagai *vickers hardness number* atau VHN didefvinisikan sebagai beban indentasi dibagi dengan luas permukaan lekukan

yang terbentuk. Luas permukaan lekukan ini diukur menggunakan mikroskop sepanjang jejak diagonal jejak. Persamaan 7 untuk menentukan nilai VHN adalah sebagai berikut:

$$VHN = \frac{2Psin(\frac{\theta}{2})}{L^2} = \frac{1.854P}{L2} \quad (6)$$

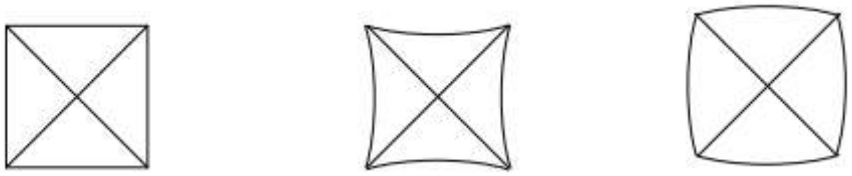
Dimana,

P = beban yang diberikan (Kg)

L = panjang diagonal rata-rata (mm)

θ = sudut antar muka yaitu 136$^o$

Beban yang biasa digunakan pada pengujian vickers berkiasar antara 1 hingga 120 kg, tergantung terhadap jenis material yang digunakan. Namun yang harus diperhatikan yaitu hasil lekukan yang dibentuk pada saat proses indentasi harus beerbentuk bujur sangkar seperti yang ditunjukkan pada Gambar 15 (a). Penyimpangan bentuk ini dapat terjadi karena adanya penurunan material uji di sekitar permukaan yang datar atau disebut sebagai lekukan bantal jarum, lihat pada Gambar 15 (b), keadaan demikian biasanya terjadi pada logam yang mengalami pelunakan dan mengakibatkan pengukuran panjang diagional yang berbeda. Penyimpangan bentuk yang kedua yaitu lekukan berbentuk tong, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 15 (c), hal ini terjadi akibat penimbunan ke atas permukaan penekan dan biasanya terjadi pada logam yang mengalami pengerjaan dingin (Dieter, 1987).



(a) (b) (c)

Gambar 15. Bekas indentasi (a). lekukan sempurna, (b). Lekukan bantal jarum, dan (c). Lekukan tong.

Pengujian kekerasan vickers berbeda dengan pengujian brinell dan rockwell dimana pada pengujian kekerasan ini menggunakan satu jenis indentor yaitu indentor intan yang berbentuk piramid.

Foto mikro terhadap hasil pengujian kekerasan *vickers* ini dapat digunakan untuk menentukan *fracture toughness* material getas seperti gelas dan keramik. Bekas indentasi yang mengakibatkan retakan disekitar indentasi digunakan dalam perhitungan menentukan *fracture toughness*. Meskipun banyak metode yagn telah dikembangkan untuk menentukan *fracture toughness* suatu material namun banyak peneliti terus menggunakan metode panjang retak lekukan *vickers* (Quinn, 2007).

### 2.5.6. Densitas *Glass-ceramics*

Pengujian densitas komposit HAp – basalt *glass-ceramics* menggunakan prinsip hukum *archimedes*. Hukum a*rchimedes* menyebutkan bahwa suatu benda yang dicelupkan ke dalam air akan mengalami gaya ke atas dimana besarnya gaya angkat tersebut sama dengan zat cair yang dipindahkan. Hal ini menjelaskan bahwa suatu benda yang semakin banyak volume tercelup atau semakin banyak air yang dipindahkan ketika

benda tersebut dicelupkan ke dalam air, maka benda akan mendapat gaya angkat yang semakin besar pula. Gaya *archimedes* atau gaya apung ini arahnya selalu menjauhi gaya gravitasi. Gaya *archimedes* tidak terlepas dari pembahasan gaya *stokes.* Gaya *stokes* merupakan gaya yang berlawanan arah terhadap gerak benda di dalam suatu fluida. Apabila suatu benda memiliki gerak ke bawah, maka benda tersebut memiliki gaya *stokes* yang arahnya berlawanan arah yaitu ke atas.

Densitas suatu material dapat dihitung dengan Persamaan 8.

$$B = \rho_{fluida}\, x\, g\, x\, V_{benda} \qquad (7)$$

Dimana,

B = densitas material yang diukur (g/cm$^3$)

$\rho_{fluida}$ = densitas fluida yang digunakan (g/cm$^3$)

$g$ = gaya grafitasi 9,80665 m/s$^2$

$V_{benda}$ = Volume benda (cm$^3$)

Ditinjau dari Persamaan 6, dapat diketahui bahwa massa jenis suatu benda memiliki makna sebagai hubungan antara massa dengan volume. Densitas suatu benda berbanding lurus terhadap rapat massa benda tersebut. Dengan demikian, semakin mampat antar partikel penyusun benda maka nilai densitas akan semakin besar untuk benda yang sama. Massa jenis merupakan massa benda dalam satuan volume benda. Semakin tinggi massa jenis maka semakin besar massa setiap volumenya. Suatu benda

yang memiliki massa jenis yang tinggi akan memiliki volume yang lebih rendah daripada benda dengan massa sama yang memiliki massa jenis lebih rendah. Dalam penerapan hukum *archimedes* untuk menentukan densitas dapat menggunakan Persamaan 9.

$$\rho_{benda} = \frac{\rho_{fluida} \, x \, m_{kering} \, x \, g}{W_{kering} - W_{basah}} \qquad (8)$$

# III. METODE

## 3.1. Tempat dan Waktu

Tempat dan waktu kegiatan penelitian dan pembautan laporan berdasarkan pada pekerjaan yang dilakukan. Waktu pelaksanaan sesuai dengan jadwal yang telah dibuat dalam jangka waktu satu semester.

### 3.1.1. Tempat

Tempat dilaksanakannya kegiatan peneltian ini terbagi menjadi dua tempat yaitu tempat melakukan percobaan dan tempat pengujian. Pelaksanaan percobaan dilakukan di Laboratorium Non Logam dan Laboratorium Analisa Balai Penelitian Teknologi Mineral – LIPI bertempat di Jl. Ir. Sutami KM 15 Tanjung Bintang Lampung Selatan.

Pada laboratorium Non Logam BPTM – LIPI dilakukan beberapa kegiatan diantaranya:

1) Preparasi bahan baku batuan basalt yang terdiri dari; pemecahan bahan baku batuan basal menggunakan Mesin *Jaw crusher*; dilanjutkan dengan memperkecil ukuran menjadi serbuk menggunakan Mesin *Ballmill*; hingga pengayakan *(meshing)*,

2) pembuatan spesimen basalt *glass-ceramics* menggunakan *muffle furnace* kapasitas 1.600 $^{o}$C,
3) pembuatan spesimen komposit HAp – Basalt *glass-ceramics* meliputi: *milling, meshing, mixing, compacting*, dan *sintering,*
4) pengujian sifat fisik seperti densitas dan degradasi,
5) pengujian komposisi kimia dan fasa menggunakan X-RF dan X-RD,
6) pengujian morfologi dan elemental kimia *glass-ceramics* menggunakan SEM.

Sedangkan tempat pengujian yang tidak terdapat di BPTM – LIPI dilaksanakan di tempat lain yaitu:

1) uji *microhardness* dilaksanakan di Laboratorium P2MM – LIPI,
2) uji DTA dan TGA dilaksanakan di Laboratorium Balai Besar Bahan Keramik.

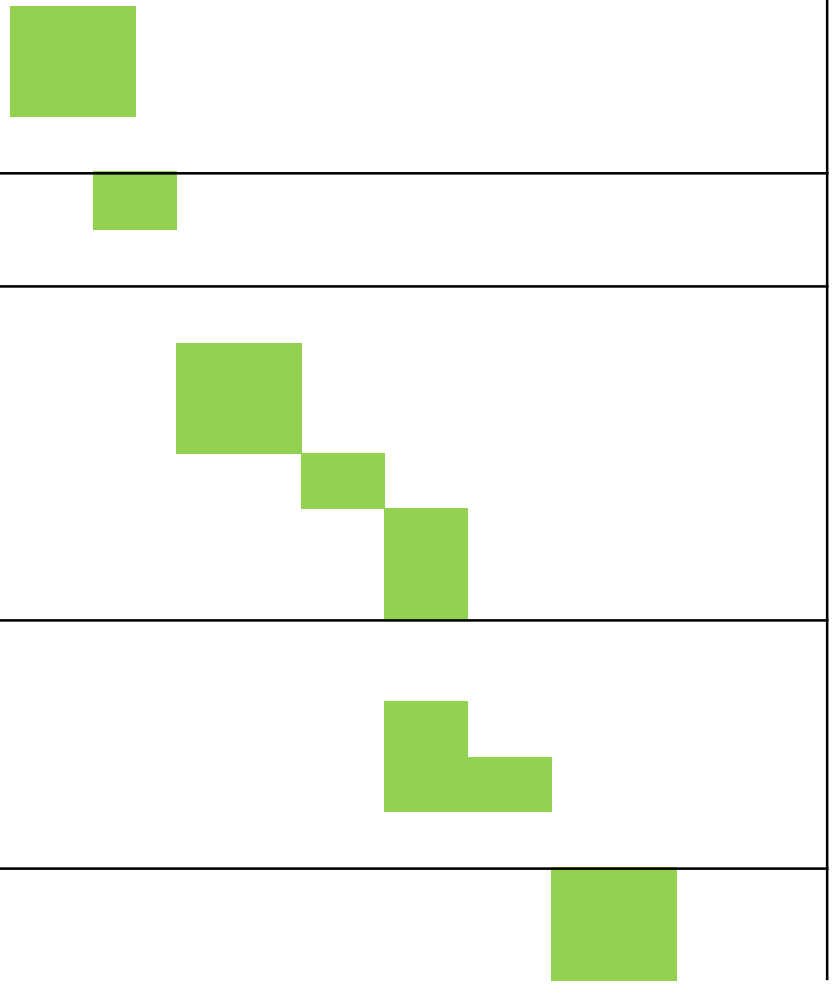
### 3.1.2. Waktu

Waktu pelaksanaan dilakukan selama enam bulan dengan jadwal pelaksanaan terbagi menjadi studi literatur, pembuatan spesimen basalt *glass-ceramics*, pembuatan spesimen komposit HAp – Basalt *glass-ceramic*, pengujian dan karakteristik basalt *glass-ceramics*, pengujian dan karakteristik komposit HAp – Basalt *glass-ceramic*, dan pembuatan Laporan. Waktu dan jadwal pelaksanaan penelitian dilakukan dengan mengacu jadwal yang telah dibuat pada Tabel 3 berikut ini.

Tabel 3. Jadwal kegiatan penelitian

| No | Bulan Ke | I | | | | II | | | | III | | | | IV | | | | V | | | | VI | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Minggu Ke | 1 | 2 | 3 | 4 | 1 | 2 | 3 | 4 | 1 | 2 | 3 | 4 | 1 | 2 | 3 | 4 | 1 | 2 | 3 | 4 | 1 | 2 | 3 | 4 |
| | Kegiatan | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1 | Studi literatur | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 2 | Preparasi sampel basalt *glass-ceramic*<br>Pembuatan serbuk basalt<br>Pencucian<br>Pengayakan<br>Karaktersitik (Uji XRF, XRD, DTA/TGA) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 3 | Analisa karakteristik raw material | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 4 | Pembuatan basalt *glass-ceramic*<br>*Melting & Sintering* | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

| | | |
|---|---|---|
| 5 | Pengujian Basalt *glass-ceramic*<br>Uji Fisis<br>Uji Mekanis | |
| 6 | Analisa karakteristik basalt *glass-ceramic* | |
| 7 | Pembuatan filler basalt *glass-ceramic*<br>Pembuatan basalt *glass-ceramics (optimum condition)*<br>*Milling & Meshing*<br>*Mixing* | |
| 8 | Pembuatan komposit HAp - Basalt *glass-ceramic*<br>*Compacting*<br>*Sintering* | |
| 9 | Pengujian komposit HAp - Basalt *glass-ceramic*<br>Uji Fisis | |



| | | |
|---|---|---|
| | Uji Mekanis | |
| 10 | Analisa Hasil Komposit HAp - Basalt *glass-ceramic* Pengulangan percobaan/pengujian | |
| 11 | Pembuatan Laporan Akhir | |

## 3.2. Alat dan Bahan

### 3.2.1. Alat

Alat pada penelitian ini meliputi alat yang digunakan pada saat persiapan bahan hingga peralatan yang digunakan untuk pengujian. Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini dirangkum dalam sebuah Tabel 4.

Tabel 4. Peralatan penelitian

| **No.** | **Nama Peralatan** | **Fungsi Alat** |
|---|---|---|
| 1 | *Jaw Crusher* | Memperkecil ukuran Batuan |
| 2 | *Ball Mill* | Menghaluskan batuan menjadi serbuk |
| 3 | Ayakan | Memperoleh ukuran mesh |
| 4 | *Muffle Furnace* | Proses pemanasan |
| 5 | Timbangan | Mengukur berat |
| 6 | *Molding* | Memberikan tekanan pada komposit sama rata |
| 7 | *Mortar* | Menghaluskan sampel serbuk |
| 8 | *X-RF Benchtop* | Mengetahui komposisi kimia |
| 9 | *X-RD Benchtop* | Mengetahui fasa |
| 10 | *SEM* | Mengetahui bentuk morfologi dan komposisi kimia |
| 11 | *DTA/ TGA* | *Uji thermal* |

Adapun penjelasan serta spesifikasi dari peralatan yang digunakan adalah sebagai berikut:

1). *Jaw Crusher*

*Jaw crusher* digunakan untuk memperkecil ukuran batuan basalt dari bentuk bongkah menjadi bentuk gravel. Gambar 16 merupakan alat *Jaw chruser* yang digunakan untuk memecahkan batuan basalt menjadi bentuk ukuran 2 x 3 cm.

Gambar 16. *Jaw crusher*.

Tabel 5 merupakan spesifikasi mesin *jaw crusher* yang digunakan untuk memperkecil ukuran batuan basalt menjadi 2 x 3 cm.

Tabel 5. Spesifikasi *jaw crusher*

| **Spesifikasi** | **Keterangan** |
|---|---|
| *Feed Opening Size* | 100 x 600 mm |
| *Max. Feed Size* | 120 mm |
| *Adjustable range of Discharge Opening* | 7 - 21 mm |

| Tabel 5. Spesifikasi *jaw crusher* (Lanjutan) | |
|---|---|
| *Crushing capacity* | 2 - 8 Ton/Hour |
| *Eccentric Sharp Speed* | 330 Rpm |
| *Main of Motor* | 7,5 Kw |
| *Over all dimension* | 790 x 1180 x 600 mm |
| *Weight* | 670 kg |

2). *Ballmill*

*Ballmill* merupakan alat yang digunakan untuk memperhalus batuan basalt bentuk *gravel* menjadi bentuk partikel halus. Pada mesin *ballmill* dilengkapi dengan bola-bola baja yang berfungsi sebagai penumbuk material yang akan di haluskan di dalam ruang penghalus *ballmill.* Gambar 17 merupakan mesin *Ballmill* yang berkapasitas 5 kg dan dilengkapi oleh motor dan tombol pengatur kecepatan.

Tabel 6 merupakan spesifikasi mesin *ballmill* yang digunakan untuk memperkecil ukuran basalt 2 x 3 cm menjadi berukuran serbuk.

Gambar 17. Mesin *ballmill.*

Tabel 6. Spesifikasi mesin *ballmill*

| **Spesifikasi** | **Keterangan** |
|---|---|
| Kapasitas | 5 kg |
| Penggerak | Em 1 Hp |
| Putaran Mesin | 300 Rpm max. Dilengkapi pengatur kecepatan |
| Rangka | UNP 50 |
| Dimensi | 300 x 200 mm dia. |
| Tebal tabung | 4 mm |
| Dia. Bola Baja | 2 in |

3). Ayakan

Ayakan digunakan untuk menseragamkan ukuran butir pada ukuran yang diinginkan. Ukuran ayakan biasanya mengikuti standar *ASTM* yaitu *mesh*. Semakin besar ukuran *mesh* berarti semakin kecil ukuran partikel. Gambar 18 menunjukkan ayakan yang akan digunakan dalam penelitian ini.

Gambar 16. Ayakan standar ASTM.

Tabel 7 merupakan spesifikasi ayakan yang digunakan untuk memperoleh ukuran yang seragam dari serbuk basalt.

Tabel 7. Spesifikasi ayakan

| **Spesifikasi** | **Keterangan** |
|---|---|
| Ukuran saringan | 200 dan 325 *mesh* |
| Standar | *ASTM* |
| Merk | *Nakatama Scientific* |
| Bahan | *Stainless Stell* |
| Dimensi | 20 x 20 x 7 cm |
| Berat | 600 g |

4). *Muffle furnace*

*Muffle furnace* digunakan pada proses *melting* dan *sintering*. Alat ini memiliki pemanas berupa kawat induksi dengan

kapasitas mencapai temperatur 1.600 $^{o}$C. *Muffle furnace* adalah tungku dimana bahan subyek dan semua produk pembakaran termasuk gas dan abu terisolasi dari bahan bakar. Setelah pengembangan pemanas listrik temperatur tinggi dengan elemen dan elektrifikasi yang berkembang di negara-negara maju, *muffle furnace* dengan cepat berubah ke listrik. Saat ini, *muflle furnace* biasanya berupa sebuah *front-loading* kotak-jenis oven atau kiln untuk aplikasi suhu tinggi seperti kaca sekering, menciptakan lapisan enamel, keramik dan barang solder. Sebuah *muffle furnace* dapat digunakan untuk anil, pengerasan, dan *tempering*.

Pengontrolan suhu menggunakan *thermocouple* yang terhubung pada layar monitor. Pemanas pada *muffle furnace* ini menggunakan kawat induksi yang terpasang di sekililing ruang tungku bagian dalam. Sedangkan proses pengontrolan lama penahanan sintering dilakukan dengan menggunakan *timer* yang terpasang. Gambar 17 merupakan *muffle furnace* kapasitas 1.600 $^{o}$C yang menggunakan pemanas induksi dengan laju pemanasan 10 $^{o}$C/min. Alat ini dapat diatur lama penahanan yang diinginkan.

Gambar 17. *Muffle furnace.*

Tabel 8 merupakan spesifikasi *muffle furnace* yang digunakan pada proses perlakuan panas basalt menjadi *glass-ceramics*.

Tabel 8. Spesifikasi *muffle furnace*

| **Spesifikasi** | **Keterangan** |
|---|---|
| Temperatur maks. | 1.600 $^{o}$C |
| Laju pemanasan | 10 $^{o}$C/ menit |
| Merk | CV. Fisika Labora |
| Tipe elemen pemanas | $MoSi_2$ |
| Jumlah Elemen Pemanas | 2 x 3 pcs |
| Volume ruang pemanas | 20 x 20 x 20 $cm^3$ |

5). Cawan/ krusibel *graphite*

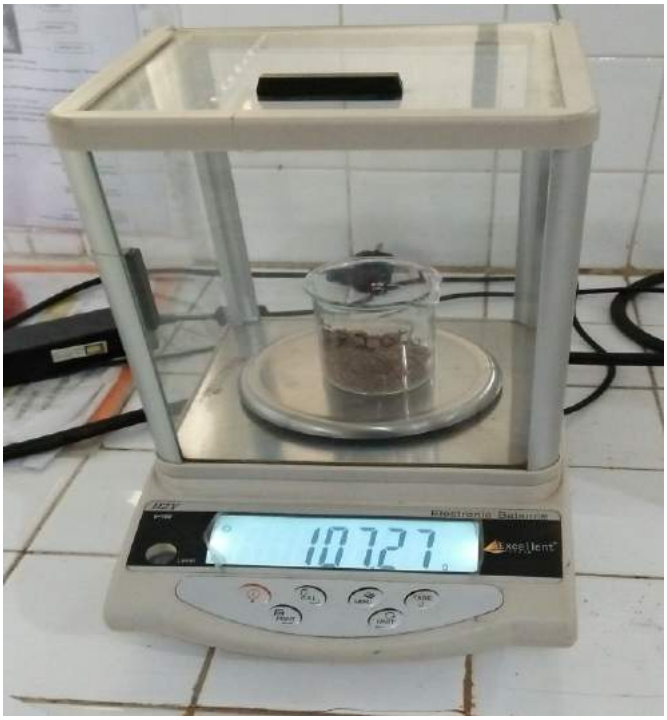
Cawan berfungsi sebagai tempat atau wadah serbuk yang akan dilakukan proses *melting* maupun *sintering*. Cawan terbuat dari *graphite* ini dipilih karena memiliki titik lebur diatas 1700 $^{o}$C melebihi titik lebur batuan basalt yang akan diuji. Cawan ini hanya dapat digunakan sekali pakai karena pada saat digunakan sebagai wadah, cawan ini mengalami pelapukan oleh suhu yang tinggi, namun apabila dibandingkan dengan material lain yang lebih tahan suhu tinggi seperti cawan *pt-rh*, cawan *graphite* lebih eknomis karena lebih murah. Contoh cawan krusibel yang terbuat dari grapite seperti yang ditunjukkan apda Gambar 18.

Gambar 18. Cawan krusibel berbahan *graphite.*

6). Timbangan digital

*Analitycal Balance* adalah suatu alat yang berfungsi untuk mengukur berat sampel. dipasaran banyak sekali berbagai macam timbangan diantaranya, *analytical balance, electronic balance*, *laboratory balance*, *precision balance* dan masih

banyak lagi. *Analytical Balance* disebut juga Timbangan Analitik. Selain untuk kebutuhan laboratorium *analytical balance* juga dapat digunakan untuk beberapa kebutuhan industri khususnya industri farmasi, karena perhitungannya yang presisi dan keakuratan data terjamin sehingga akan lebih akurat dalam pengumpulan datanya. *Analytical Balance* berfungsi untuk mengukur massa suatu benda dengan akurasi sampai ±0,0001 gram, alat ini merupakan salah satu alat laboratorim yang sangat dibutuhkan di laboratorium. Jenis ini sangat cocok digunakan untuk kebutuhan alat laboratorium. *Analytical Ballance* adalah perangkat untuk mengukur secara akurat berat benda. Hal ini dapat dicapai dengan menggunakan perangkat yang disebut *load cell* yang bertindak sebagai transduser. Gambar 19 merupakan timbangan digital dengan presisi dua angka di belakang koma.




Gambar 19. *Analitycal balance.*

7). *Molding/* alat pengepres komposit

Molding digunakan untuk membuat spesimen komposit HAp – Basalt *glass-ceramic*. Gambar 20 merupakan Mesin *molding* yang dilengkapi dengan penekan hidrolik yang digunakan saat kompaksi komposit.

Gambar 20. Mesin press manual

Tabel 9 merupakan spesifikasi mesin press yang digunakan pada proses kompaksi komposit HAp - *glass-ceramics.*

Tabel 9. Spesifikasi mesin Press Hidrolik

| **Spesifikasi** | **Keterangan** |
|---|---|
| Tenaga penggerak | Hidrolik |
| Dimensi | 200 x 100 x 50 cm |
| Kapasitas | 20 Ton |
| *Stroke* | 190 mm |
| *Bed Width* | 545 mm |

8). *Mortar*

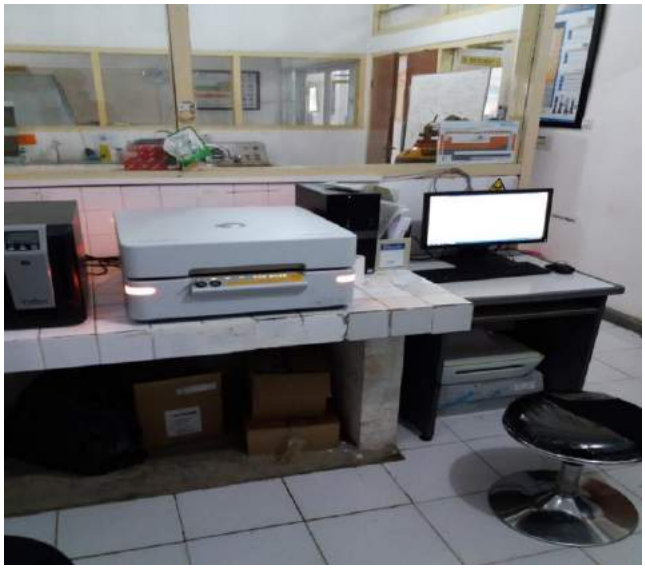
*Mortar* merupakan alat preparasi analisa serbuk yang akan dilakukan uji XRD dan XRF. *Mortar* ini berfungsi untuk

menggerus sampel hingga berukuran halus kurang lebih *mesh* 300. Gambar 21 merupakan seperankat alat penghalus manual yang disebut *mortar* dan *pestle* (penumbuk/ alu).

Gambar 21. *Mortar* dan *pestle.*

9). *X-ray fluorescence*

Gambar 22 merupakan alat uji X-RF yang berada di Laboratorium Analisa BPTM – LIPI.



Gambar 22. Alat uji XRF.

Tabel 10 merupakan spesifikasi alat uji komposisi kimia *X-RF* tipe *benchtop.*

Tabel 10. Spesifikasi *X-RF benchtop*

| **Spesifikasi** | **Keterangan** |
|---|---|
| Merk | *XRF Epsilon 4 XRF Spectrometer dari Malvern Panalytical* |
| Tegangan operasional | 40 kV |
| Arus operasional | *3 mA* |
| Bentuk sampel | Serbuk mesh 325 atau padatan 15 mm |

10). Alat uji *X-ray diffracment*

Gambar 23 merupakan alat uji *X-RD* yang berada di Laboratorium BPTM – LIPI.

Gambar 24. Mesin *X-Ray Diffraction benchtop*.

Tabel 11 merupakan spesifikasi alat uji *X-Ray Diffraction*

Tabel 11. Spesifikasi *X-Ray Diffracton benchtop*

| **Spesifikasi** | **Keterangan** |
|---|---|
| Merk | *Panalytical Xpert 3 Powder XRD* |
| Tegangan operasional | 40 kV |
| Arus operasional | 30 *mA* |
| Bentuk sampel | Serbuk *mesh* 325 atau padatan 15 mm |

11). Alat uji SEM

Gambar 25 merupakan alat uji SEM instrument Model: Phenom Pro X yang berada di Laboratorium Analisa LIPI.

Gambar 25. Alat SEM (elsa.lipi.go.id).

Tabel 12 merupakan spesifikasi alat uji *SEM Phenom Pro X* yang digunakan untuk melihat bentuk morfologi *glass-ceramics.*Alat analisis SEM tipe ini dilengkapi dengan peraltan yang memungkinkan untuk menganalisa komposisi kimia baik secara *mapping, area*, maupun *point*.

Tabel 12. Spesifikasi SEM Phenom Pro X

| **Spesifikasi** | **Keterangan** |
|---|---|
| Merk | SEM Phenom |
| Multiple Acceleration Voltages | Antara 5 kV dan 10kV untuk resolusi gambar yang tinggi & 15kV untuk hasil analisis yang lebih baik |

| Tabel 12. Spesifikasi SEM Phenom Pro X (Lanjutan) | |
|---|---|
| Magnification | Pembesaran hingga 150.000 kali. |
| Kelengkapan | Desktop SEM performance tinggi yang dilengkapi dengan BSED, EDX dan SED opsional. |

12). Alat uji DTA/ TGA

Pengujian DTA/TGA akan dilakukan di luar Laboratorium LIPI, karena dalam pengujian ini membutuhkan temperatur yang tinggi, di atas 1.400 $^{o}$C. Metode pengujian raw basalt mengikuti Standar *IP-PSK-05-01-5b/2.* Merk alat *thermal* analisis adalah *SETSYS - 1.750 Thermo analyzer*, sampel berupa serbuk sebanyak 24,3 mg dengan laju pemanasan 10 °C / menit. Pengujian DTA dilakukan pada tekanan atmosfer *Ar* dengan *crucible Platinum (PT)* 100µl.

### 3.2.2. Bahan

Bahan utama yang digunakan dalam penelitian ini adalah batuan basalt yang diperoleh dari Sukadana Lampung Timur. Ciri kas batuan basalt ini adalah adanya rongga yang terdapat disekeliling batuan. Menurut penduduk sekitar batuan ini sering disebut sebagai batu keriting karena bentuknya yang keriting dan berlubang. Bahan utama HAp yang digunakan dengan kemurnian 90% dan berukuran 30 µm.

Tabel 13 Merupakan spesifikasi Hidroksiapatit (HAp) yang digunakan pada pembuatan komposit HAp - *glass-ceramics*.

Tabel 13. Spesifikasi HAp

| Spesifikasi | Keterangan |
|---|---|
| Kode Produk | : HAp |
| Rumus molekul | : $Ca_{10}(PO_4)_6(OH)_2$ |
| Berat molekul | : 1004 |
| Titik lebur | : 1.650 $^oC$ |
| Spesifik gravity | : 3,16 g/cm |
| Kelarutan | : 0,4 ppm |
| Ca/P rasio | : 1,67 |
| Struktur kristal | : Heksagonal |
| Bentuk | : bubuk/ partikel berpori/ curah |
| Kekerasan | : 5 skala mosh |

### 3.2.3. Metode

Penelitian dengan judul "Analisis *Glass-Ceramics* Dari Batuan Basalt Lampung Timur Sebagai Material *Filler* Komposit Hidroksiapatit (HAp)" ini terbagi menjadi tiga bagian penelitian. Ketiga bagian tersebut merupakan satu kesatuan untuk memperoleh komposit HAp berpenguat *glass-ceramics.*

Tahapan-tahapan penelitian hingga diperoleh produk komposit HAp - *glass-ceramics* yaitu:

1) Karakterisasi basalt

Karakterisasi basalt meliputi identifikasi batuan yang diambil dari daerah Sukadana Lampung Timur. Identifikasi tersebut meliputi

uji *X-Ray Fluorescence* dan *X-Ray Diffraction* untuk mengetahui jenis batuan.

Setelah diperoleh batuan basalt yang sesuai, selanjutnya dilakukan pengujian *thermal DTA/ TGA*. Hal ini bertujuan untuk mengetahui parameter thermal basalt hingga diperoleh fasa *glass-ceramics.*

2) Pembuatan *glass-ceramics*

Perlakuan panas pada basalt mulai dari pembentukan glass parent dari batuan basalt Lampung Timur hingga diperoleh fasa kristanilitas glass-ceramics. Parameter perlakuan panas didasarkan pada analisis hasil pengujian *thermal.* Basalt *glass-ceramics* yang diperoleh kemudian dilakukan pengujian untuk mengetahui karaktersitik *glass-ceramics.* Pengujian tersebut meliputi uji *X-Ray Fluorescence* dan *X-Ray Diffraction*, foto mikro dan SEM, densitas, mikro *vickers,* degradasi pada $H_2O$.

3) Pembuatan komposit HAp - *Glass-ceramics*

Pembuatan komposit matriks HAp dengan penambahan *filler* penguat serbuk Basalt *glass-ceramics* menggunakan desain eksperimen seperti yang ditunjukkan pada Tabel 14.

Tabel 14. Desain eksperimen komposit *HAp*

| **Nama Sampel** | **PLA** | **HAp** | **BGC** | **Komposit** |
|---|---|---|---|---|
| | **%** | **%** | **%** | **%** |
| 1. | 25 | 70 | 5 | 100 |
| 2. | 25 | 65 | 10 | 100 |
| 3. | 25 | 60 | 15 | 100 |

Komposit yang dibuat menggunakan resin *Poly latic acid (PLA)* dengan serbuk *HAp* sesui dengan standar medis dengan penambahan *filler* berupa serbuk *glass-ceramics* yang telah dibuat.

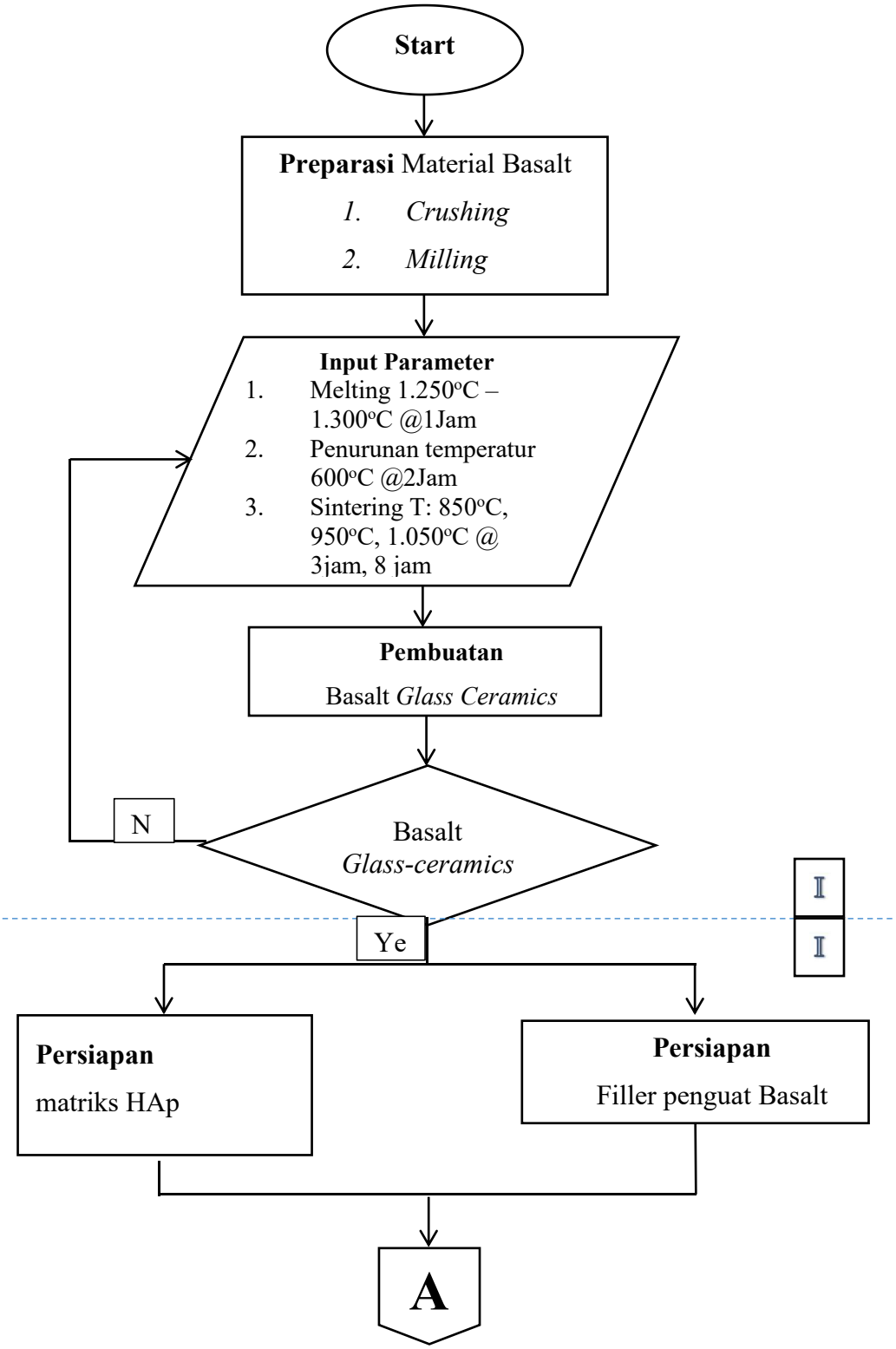
Tahapan-tahapan pembuatan komposit adalah sebagai berikut:

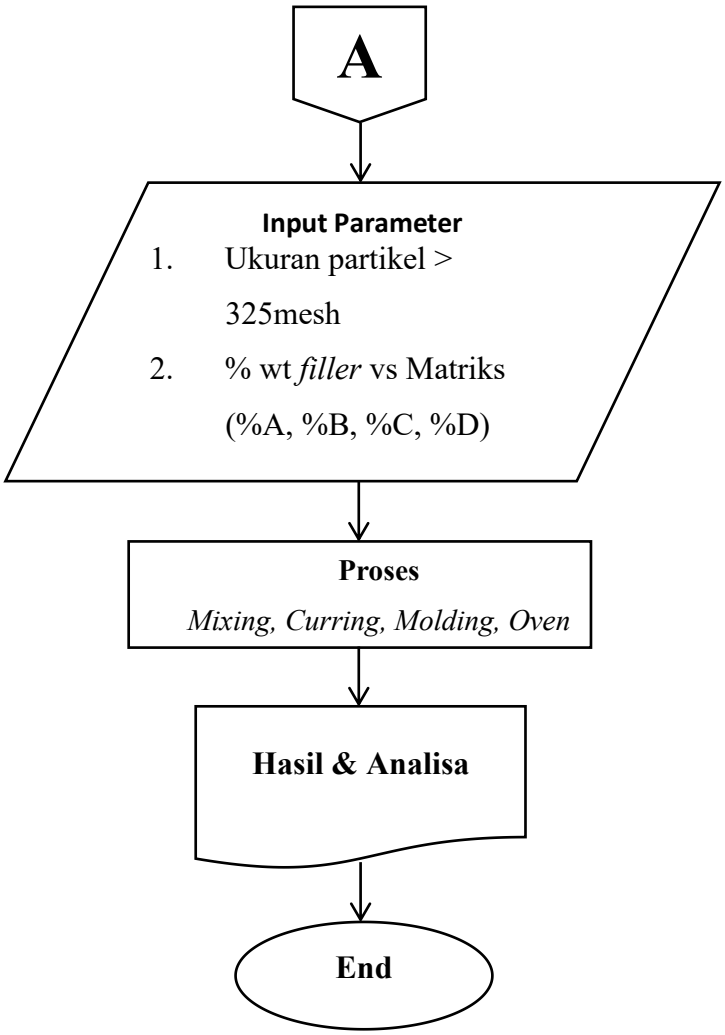
1) Tahapan pembuatan serbuk *glass-ceramics*. Setelah *glass-ceramics* diperoleh dari hasil perlakuan panas batuan basalt Lampung Timur kemudian dilakukan pengecilan ukuran. Pengecilan ukuran menggunakan mesin *ballmill* dan *mortar* untuk selanjutnya dilakukan pengayakan ukuran lolos 200 mesh.
2) Serbuk *glass-ceramics* ditimbang dengan prosentase massa sesuai dengan Tabel 14.
3) Pelarutan *PLA* menggunakan *methylene chloride (MC)*. Pelarutan dilakukan dengan mencampurkan 5 gram *PLA* dengan 25 mL *MC.* Pengadukan

menggunakan *magnetic stirrer* dengan kecepatan 150 - 500 rpm pada temperatur ruang.

4) Tahapan pencampuran larutan (3) dengan HAp dan *glass-ceramics.* Pencampuran sesuai dengan fraksi massa sesuai dengan Tabel 14.
5) Pencetakan komposit HAp - *Glass-ceramics.* Pencetakan dilakukan pada sebuah *molding* dengan menuangkan campuran (4). cetakan kemudian dibiarkan kering pada temperatur ruang selama 1 hari.
6) Tahapan pengeringan sampel. Pengeringan sampel dilakukan pada oven dengan temperatur 80 $^{o}$C. Temperatur yang rendah dimaksudkan agar tidak merusak *PLA* yang berjenis polimer. Pengeringan dilakukan selama 8 jam.

Komposit yang telah dibuat selanjutnya dilakukan pengujian mikro hardness vickers dan dilanjutkan analisis hasil dari uji kekerasan tersebut. Eksperimen pembuatan komposit - *glass-ceramics* dilakukan sesuai dengan langkah-langkah seperti yang ditunjukkan pada Gambar 26 berikut ini.


Start
Preparasi Material Basalt
1. Crushing
2. Milling
Input Parameter
1. Melting 1.250°C – 1.300°C @1Jam
2. Penurunan temperatur 600°C @2Jam
3. Sintering T: 850°C, 950°C, 1.050°C @ 3jam, 8 jam
Pembuatan
Basalt Glass Ceramics
Basalt Glass-ceramics
N
Ye
I
I
Persiapan
matriks HAp
Persiapan
Filler penguat Basalt
A




Gambar 26. Diagram alir penelitian.

### 3.3. Pelaksanaan

Pelaksanaan percobaan pada penelitian ini mengikuti jadwal yang telah dibuat.

# V KESIMPULAN

## 5.1. Kesimpulan

Kemampuan pembentukan glass dari batuan basalt Lampung Timur dipengaruhi oleh beberapa parameter penting seperti temperatur transisi *glass* (Tg) 425$^{o}$C, temperatur awal kristalisasi (Tx) 725$^{o}$C, dan titik lebur basalt ( Tm) 1.200$^{o}$C. Nilai parameter Trg sebesar lebih kecil dari 2/3 menjadi kriteria awal kemungkinan terbentuknya *glass* yang homogen pada basalt dari Lampung Timur.

Komposisi kimia pada basalt Lampung Timur dominan terdiri dari 48,418% $SiO_2$, 18,82% $Al_2O_3$, 12,593% $Fe_2O_3$, 9,761% CaO, 4,561% MgO, dan 3,356% $Na_2O$. digram TAS ($Na_2O+K_2O$ - $SiO_2$) menunjukkan bahwa basalt Lampung Timur merupakan tipe basalt subalkaline.

*Glass-ceramics* dari batuan basalt Lampung Timur tidak menunjukkan perubahan komposisi kimia yang signifikan dibandingkan dengan *raw* basalt. Namun kandungan kimia $SiO_2$ sedikit mengalami penurunan dari 48,418% w/t menjadi 41,534 hingga 37,739% w/t pada *glass-ceramics.* Nilai ini menunjukkan kemungkinan viskositas leleh yang rendah dibandingkan dengan kadar yang lebih tinggi. Selain $SiO_2$, penurunan viskositas leleh basalt *glass-ceramics* juga dipengaruhi oleh komposisi

kimia FeO, CaO, dan MgO. Fe oksida *glass-ceramics* berkurang dengan semakin tinggi temperatur kritalisasi dan lama penahanan. Tekstur kristalin *glass-ceramics* yang halus dan seragam dipengaruhi oleh rasio $FeO/Fe_3O_4$ yang bernilai 0,72 hingga 0,76, lebih kecil dari 0,85. Selain itu, rasio CaO/MgO sebesar 2,5 dan rasio CaO/NaO sebesar 10 mengindikasikan bahwa kristalisasi dapat terjadi pada temperatur yang rendah.

Pembentukan fasa kristal pada *glass-ceramics* tidak menunjukkan perubahan yang signifikan dengan fasa *raw* basalt. Fasa yang terbentuk pada *glass-ceramics* yaitu *anorthite, olivine,* dan *pyroxene.* Fasa kristal *olivine* dominan *fayalite* dipengaruhi oleh kandungan Fe yang tinggi pada basalt. Hal ini memberikan titik lebur basalt 1.200$^oC$, lebih rendah dibandingkan olivine fosterit dengan titik lebur 1.900$^oC$. Kehadiran fasa kristal *pyroxene* memberikan sifat superior tahan aus dan ketahanan kimia. Semakin tinggi temperatur kristalisasi dan lama penahanan, fasa *pyroxene* makin dominan terbentuk.

Kekerasan *glass-ceramics* dari batuan basalt Lampung Timur dipengaruhi temperatur dan lama penahanan yang berakibat pada pembentukan fasa kristal. Ketidak sempurnaan pada *glass-ceramics* ditandai dengan terbentuknya *bubles* yang nampak pada foto mikro SEM. Hal ini memberikan pengaruh terhadap nilai kekerasan *glass-ceramics.*

Penggunaan serbuk *glass-ceramics* dari batuan basalt Lampung Timur sebagai filler penguat komposit mampu memberikan kenaikan kekerasan sebesar 125% dari material HAp dan 57% kenaikan dari komposit HAp - PLA.

## 5.2. Saran

Pembuatan *glass-ceramics* dari batuan basalt Lampung Timur telah berhasil dan memberikan kenaikan kekerasan dibandingkan dengan kekerasan HAp dan komposit HAp - PLA. Namun dalam penelitian ini masih terdapat kekurangan yang disebabkan oleh *human errors* maupun peralatan yang kurang mendukung. Beberapa saran yang dapat diberikan untuk memperoleh perbaikan hasil diantaranya yaitu:

1) Kadar Fe pada *glass-ceramics* tidak dikehendaki secara berlebihan apabila diaplikasikan pada biomaterial. Kandungan Fe ini memberikan kemungkinan terjadinya korosi apabila bereaksi dengan cairan tubuh yang dapat membahayakan. Penurunan kadar Fe pada basalt dapat dilakukan dengan pelarutan serbuk basalt menggunakan larutan asam. Asam organik untuk penurunan kadar Fe pada basalt dapat dilakukan menggunakan asam oksalat dari belimbing wuluh ataupun asam organik lainnya.
2) Pembuatan komposit HAp - *Glass-ceramics* akan lebih baik dengan meminimalkan *voids* atau gelembung-gelembung udara yang mungkin terjadi selama proses pembentukan

komposit. Beberapa metode pembuatan komposit telah dikembangkan dapat dicoba digunakan seperti metode *vacuum.*

3) Perlu dipelajari pembentukan *glass-ceramics* menjadi bentuk tulang dan gigi secara independen, tanpa disatukan menjadi komposit dengan material lain. Hal ini didasari oleh sifat basalt *glass-ceramics* yang sudah memiliki superioritas sendiri dibandingkan material tambahan pada komposit HAp.
4) Perlu dilanjutkan dengan pengujian in vitro menggunakan simulasi cairan tubuh *(fluids body simulation).*

# DAFTAR PUSTAKA


Abdel-Hameed, S.A., Bakr, I.M., 2007. Effect Of Alumina On Ceramic Properties Of Cordierite Glass–Ceramic From Basalt Rock. J. Eur. Ceram. Soc. 27, 1893–1897.

Agathopoulos, S., Tulyaganov, D.U., Marques, P.A.A.P., Ferro, M.C., Fernandes, M.H. V, Correia, R.N., 2003. The Fluorapatite–Anorthite System In Biomedicine. Biomaterials 24, 1317–1331.

Amin, M., Birawidhaa, D.C., Isnugroho, K., Hendronursito, Y., Sumardia, S., Ariob, S., Syafriadib, Muttaqii, M. Al, 2019. The Influence Of Basalt Minerals As Cement Substitution Materials In Mortar. Acta Polytech. 59, 536–542. Https://Doi.Org/10.14311/AP.2019.59.0536

Arboleda, A., Franco, M., Caicedo, J., Goyes, C., 2016. Synthesis And Chemical And Structural Characterization Of Hydroxyapatite Obtained From Eggshell And Tricalcium Phosphate. Ing. Y Compet. 78, 71–78.

Asmoro, A.D., 2020. Pengaruh Ukuran Serbuk Hydroxyapatite Berbahan Batu Kapur Lampung Terhadap Kekerasan Komposit Hydroxyapatite/Polylactic Acid Sebagai Pengisi Tulang (Bone Filler). Universitas Lampung.

Ateş, A., Önen, U., Ercenk, E., Yılmaz, Ş., 2017. Crystallization Behaviors And Seal Application Of Basalt Based Glass-Ceramics 020006. Https://Doi.Org/10.1063/1.4975421

Azo Materials, 2010. Ceram Acquires New X-Ray Diffractometer To Expand Mineralogical Analysis Service [WWW Document]. Azo Netw. URL Https://Www.Azom.Com/News.Aspx?Newsid=26739 (Accessed 3.10.19).

Bas, M.J.L.E., Maitre, R.W.L.E., Streckeisen, A., Zanettin, B., 1986. A Chemical Classification Of Volcanic Rocks Based On The Total Alkali-Silica Diagram. J. Petrol. 27, 745–750. Https://Doi.Org/10.1093/Petrology/27.3.745

Basalt.Today, 2020. Basalt World Corp [WWW Document]. URL Https://Basalt.Today/2020/01/22404/

Bohner, M., 2000. Calcium Orthophosphates In Medicine : From Ceramics To Calcium Phosphate Cements. Inj. Int. J. Care Inj. 3 31, S-D37-47.

Boshytska, N. V, Fedorenko, Y.O., Perekos, A.O., Kaplunenko, N. V, 2017. Stability Of The Phase Composition Of Hydroxyapatite Powder Systems Reinforced With Basalt Scale , When Interacting With Biological Environments. Powder Metall. Met. Ceram. 55, 574–579. Https://Doi.Org/10.1007/S11106-017-9841-4

Breme, H., Biehl, V., Reger, N., Gawalt, E., 2016. Chapter 1c Metallic Biomaterials : Titanium And Titanium Alloys. Https://Doi.Org/10.1007/978-1-4939-3305-1

Callister, W.D., Wiley, J., 2007. Materials Science, 7th Ed. John Wiley & Sons, Inc, New York.

Chen, M., Liu, J., Wu, Z., 2020. Effect Of Fe 2 O 3 Concentration On

The Properties Of Basalt Glasses. J. Nat. Fibers 00, 1–11. Https://Doi.Org/10.1080/15440478.2020.1758277

Chen, Y., Han, P., Vandi, L., Dehghan-, A., Humphry, J., Kent, D., Stefani, I., Heitzmann, M., Cooper-White, J., Humphry, J., Kent, D., Stefani, I., Lee, P., Heitzmann, M., Cooper-White, J., Dargusch, M., 2018. PT. Mater. Sci. Eng. C #Pagerange#. Https://Doi.Org/10.1016/J.Msec.2018.10.033

Dehghanghadikolaei, A., Fotovvati, B., 2019. Coating Techniques For Functional Enhancement Of Metal Implants For Bone Replacement : A Review. Materials (Basel). 12, 1–23.

Dieter, E.G., 1987. Metalurgi Mekanik. Erlangga, Jakarta.

Donaldson, C.H., 1976. No Title. Contrib. To Mineral. Petrol. 57, 187–213.

Dyah, S.N., Ardiantono, F.A., Putri, L.K., 2018. Karakterisasi Komponen Aktif Pozzolan Untuk Pengembangan Portland Pozzolan Cement ( Ppc ) Characterization Of Pozzolan Activity Components For Portland Pozzolan Cement ( Ppc ) Development. Tek. Kim. 12, 52–56.

Egbo, M.K., 2020. A Fundamental Review On Composite Materials And Some Of Their Applications In Biomedical Engineering. J. King Saud Univ. - Eng. Sci. Https://Doi.Org/10.1016/J.Jksues.2020.07.007

El‐Shennawi, A.W.A., Mandour, M.A., Morsi, M.M., Abdel‐Hameed, S.A., 1999. Monopyroxenic Basalt‐Based Glass‐Ceramics. J. Am.

Ceram. Soc. 82, 1181–1186.

Ellyawan,. (2008). Panduan untuk Komposit. Http://ellyawan.dosen.akprind.ac.id. (Diakses 23 Januari 2021)

Ercenk, E., Guven, B., Yilmaz, S., 2018. Crystallization Kinetics Of Machinable Glass Ceramics Produced From Volcanic Basalt Rock. J. Non. Cryst. Solids 498, 262–271.

Ergul, S., Akyildiz, M., Karamanov, A., 2007. Basaltic Tuffs. Ind. Ceram. 27, 1–6.

Fan, G.J., Choo, H., Liaw, P.K., 2007. A New Criterion For The Glass-Forming Ability Of Liquids. J. Non. Cryst. Solids 353, 102–107.

Fraser, D., Mendonca, G., Sartori, E., Funkenbusch, P., Ercoli, C., Meirelles, L., 2019. Bone Response To Porous Tantalum Implants In A Gap Healing Model. Clin. Oral Implant. Res. 30 (2), 156–168. Https://Doi.Org/10.1111/Clr.13402

Geologinesia, 2016. Mineral Olivin: Pengertian, Genesa, Deskripsi Dan Kegunaannya [WWW Document]. URL Https://Www.Geologinesia.Com/2016/09/Mineral-Olivin-Pengertian-Genesa.Html (Accessed 12.30.19).

Gibson, R.., 1994. Principle Of Composite Material Mechanic. Mcgraw-Hill Interrnational Book Company, New York.

Goreau, T.J., Larson, R.W., Campe, J., 2015. Geotherapy: Innovative Methods Of Soil Fertility Restoration, Carbon Sequestration, And Reversing CO2 Increase. CRC Press (Taylor & Francis), Parkway

NW, Suite 300 Boca Rato.

Goreau, T.J., Stack, E., Senechal, E., Tang, J., Ryals, R., Vanacore, T., Campe, J., 2013. Basalt Dust And Biochar Interactions At New Harmony Farm , Massachusetts 1634.

Griffith, L.G., Naughton, G., 2002. Tissue Engineering — Current Challenges And Expanding Opportunities. Science (80-. ). 295, 1009–1016.

Harris, B., 1999. Engineering Composite Materials. Maney Publishing; 2nd Edition.

Hendronursito, Y., Rajagukguk, T.O., Safii, R.N., Sofii, A., Isnugroho, K., Birawidha, D.C., Amin, M., Muttaqii, M. Al, 2020. Analysis Of Aluminium Basalt Particulate Composite Using Stirring Casting Method Through Taguchi Method Approach, IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng. 807, 1–6. Https://Doi.Org/10.1088/1757-899X/807/1/012003

HHT Services Inc, 2020. Chemical Reactor [WWW Document]. URL Https://Hhtservices.Com/Chemical-Reactor/ (Accessed 10.10.20).

Holand, W., Beall, G., 2002. Glass-Ceramic Technology, 05 Ed. The American Ceramic Society, Westerville, Ohio.

Isnugroho, K., Hendronursito, Y., Birawidha, D.C., 2018. Characterization And Utilization Potential Of Basalt Rock From East- Lampung District Characterization And Utilization Potential Of Basalt Rock From East-Lampung District, In: Materials Science And Engineering. IOP Conf. Series: Materials Science And

Engineering 285, Indonesia, P. 012014. Https://Doi.Org/10.1088/1757-899X/285/1/012014

Jezek, P.A., Whitford, D.J., Gill, J.B., 1981. Geochemistry Of Recent Lavas From The Sangihe-Sulawesi Arc, Indonesia. Geol. Res. Dev. Cent. Spec. Pub. 2, 383–389.

Kaplunenko, N. V, Ulyanchych, N. V, Klipov, V.D., Gorban, V.F., 2016. Refractory And Ceramic Materials Basalt Scale-Reinforced Hydroxyapatite. Powder Metall. Met. Ceram. 55, 306–311. Https://Doi.Org/10.1007/S11106-016-9806-Z

Karamanov, A., Arrizza, L., Ergul, S., 2009. Sintered Material From Alkaline Basaltic Tuffs. J. Eur. Ceram. Soc. 29, 595–601. Https://Doi.Org/10.1016/J.Jeurceramsoc.2008.07.002

Kehoe, S., 2008. Optimisation Of Hydroxyapatite ( Hap ) For Orthopaedic Application Via The Chemical Precipitation Technique By. Dublin City University.

Keller, W.D., 2019. Native Rocks And Minerals As Fertilizers. Sci. Mon. 66, 122–130.

Khater, G.A., Abdel-Motelib, A., Manawi, A. El, Safiah, M.O.A., 2012. Glass-Ceramics Materials From Basaltic Rocks And Some Industrial Waste. J. Non. Cryst. Solids 358, 1128–1134. Https://Doi.Org/10.1016/J.Jnoncrysol.2012.02.010

Khoirudin, M., Yelmida, Zultiniar, 2008. Sintesis Dan Karakterisasi Hidroksiapatit (Hap) Dari Kulit Kerang Darah (Anadara Granosa) Dengan Proses Hidrotermal. JOM Fteknik 2, 1–8.

Kogan, F., Nikitina, O., 1994. Solubility Of Chrysotile Asbestos And Basalt Fibers In Relation To Their Fibrogenic And Carcinogenic Action Environ. Enviromental Heal. Perspect. 102, 205–206.

Kusdarto, S., Sukmawan, S., Sutandi, A.S., 2006. Inventarisasi Dan Evaluasi Bahan Galian Non Logam Di Kabupaten Lampung Tengah Dan Lampung Timur, Provinsi Lampung [WWW Document]. Badan Geol. Kementeri. Energi Dan Sumber Daya Miner. URL Http://Psdg.Bgl.Esdm.Go.Id/Index.Php?Option=Com_Content&View=Article&Id=473&Itemid=478 (Accessed 7.22.19).

Lima, L.F., Mantas, P.Q., Segadães, A.M., Cruz, R.C., 2020. Processing And Characterization Of Sinter-Crystallized Basalt Glass-Ceramics. J. Non. Cryst. Solids 538.

Lo, C.L., Duh, J.G., Chiou, B.S., Lee, W.H., 2002. Low‐Temperature Sintering And Microwave Dielectric Properties Of Anorthite‐Based Glass‐Ceramics. J. Am. Ceram. Soc. 85, 2230–2235.

Long, R.A., 1975. Implantable Ceramic Bone Prosthesis.

Margareta, M.A.H., Fuad, A., Ilmiawati, S.A., Wonorahardjo, S., 2015. Sintesa Hydroxyapatite (Ca10(Po4)6(Oh)2) Berbasis Batu Kapur. J. Penelit. Fis. Dan Apl. 5, 15–20.

Matovic, B., Boskovic, S., Logar, M., 2003. Preparation Of Basalt-Based Glass Ceramics. J. Srb.Chem.Soc 68, 505–510.

Mccollister, H.L., 1977. Method Of Making Glass-Ceramics From Modified Basalts. United States Patent 4,009,015.

Mcconnell, E., Kamstrup, O., Musselman, R., Hesterberg, T., Chevalier,

J., Miller, W., Thevenas, P., 1994. Chronic Inhalation Study Of Size-Separated Rock And Slag Wool Insulation Fibers In Fischer 344/N Rats Inhal. Inhal. Toxicol. 6, 571–614. Https://Doi.Org/Http://Dx.Doi.Org/10.3109/08958379409003042

Mozartha, M., Praziandithe, M., Sulistiawati, 2015. Pengaruh Penambahan Hidroksiapatit Dari Cangkang Telur Terhadap Kekuatan Tekan Glass Ionomer Cement. B-Dent 2, 75–81.

Niinomi, M., Nakai, M., Hieda, J., 2012. Acta Biomaterialia Development Of New Metallic Alloys For Biomedical Applications. Acta Biomater. 8, 3888–3903. Https://Doi.Org/10.1016/J.Actbio.2012.06.037

Nunes, J.M.G., Kautzmann, R.M., Oliveira, C., 2014. Evaluation Of The Natural Fertilizing Potential Of Basalt Dust Wastes From The Mining District Of Nova Prata ( Brazil ). J. Clean. Prod. 4–11. Https://Doi.Org/10.1016/J.Jclepro.2014.04.032

Oktamuliani, S., 2016. Identifikasi Mineral Pada Batuan Granit Di Geopark Merangin Provinsi Jambi Menggunakan X-Ray Diffraction ( Xrd ). J. Online Physic 1, 12–17.

Pavlovic, M., Dojcinovic, M., Prokic-Cvetkovic, R., Andric, L., Ceganjac, Z., Trumbulovic, L., 2019. Cavitation Wear Of Basalt-Based Glass Ceramic. Materials (Basel). 12, 1552.

Pavlović, M., Đuričić, M., Mumđić, A., 2015. Basalt Application Prospects For Touristic Facilities Furnishing, In: 2nd International Conference: “Higher Education In Function Of Development Of

Tourism In Serbia And Western Balkans." Pp. 299–306.

Priyono, J., Gilkes, R.J., 2008. Dissolution Kinetics Of Milled-Silicate Rock Fertilizers In Organic Acid. J. Tanah Trop 13, 1–10. Https://Doi.Org/10.5400/Jts.2008.V13i1.1-10

Putlayev, V.., 2004. Modern Bioceramics. Soros Educ. J. 8, 44–50.

Quinn, G.D., 2007. Fracture Toughness Of Ceramics By The Vickers Indentation Crack Length Method: A Critical Review, In: Ceramic Engineering And Science Proceedings. American Ceramic Society, P. 45.

R Nowosielski, Babilas, R., 2010. Glass-Forming Ability Analysis Of Selected Fe-Based Bulk Amorphous Alloys. J. Achiev. Mater. Manuf. Eng. 42, 66–72.

Ramdhiani, M.A., Mugiyantoro, A., Sutarto, 2018. Analisa Unsur Utama Dan Unsur Jejak Dalam Identifikasi Petrogenesis Pada Batuan Beku Gunung Galunggung, Jawa Barat, In: Geologi, D.T. (Ed.), Seminar Nasional Kebumian Ke-11. Yogyakarta, Pp. 707–723.

Rawlings, R.D., Wu, J.P., Boccaccini, A.R., 2006. Glass-Ceramics : Their Production From Wastes — A Review. J Mater Sci 41, 733–761. Https://Doi.Org/10.1007/S10853-006-6554-3

Saad, M., Poulain, M., 1987. Glass Forming Ability Criterion, In: Materials Science Forum. Trans Tech Publications Ltd., Pp. 11–18.

Salama, S.N., Salman, S.M., Darwish, H., 2002. The Effect Of Nucleation Catalysts On Crystallization Characteristics Of Aluminosilicate Glasses 46, 15–23.

SDVOSB, 2018. Trap Rock / Basalt Powder & Fiber [WWW Document]. Reade Int. Corp.,. URL Https://Www.Reade.Com/Products/Trap-Rock-Basalt-Powder-Fiber

Sevastyanov, V.I., Vasin, S.L., Perova, N. V., 1999. Research Methods Of Biomaterials And Medical Devices, Biocompatibility. Moscow.

Shen, X., Zhang, Y., Ma, P., Sutrisno, L., Luo, Z., Hu, Y., Yu, Y., Tao, B., Li, C., Cai, K., 2019. Biomaterials Fabrication Of Magnesium / Zinc-Metal Organic Framework On Titanium Implants To Inhibit Bacterial Infection And Promote Bone Regeneration. Biomaterials 212, 1–16. Https://Doi.Org/10.1016/J.Biomaterials.2019.05.008

Shinta, C., Alpina, A., Yelmida, A., 2017. Sintesis Hidroksiapatit Dari Precipitated Calcium Carbonate (PCC) Cangkang Telur Ayam Melalui Proses Sol Gel Dengan Variasi Ph Dan Waktu Aging. JOM Fteknik 4, 2–5.

Sirait, M., Sinulingga, K., Siregar, N., Siregar, R.S.D., 2020. Synthesis Of Hydroxyapatite From Limestone By Using Precipitation Method Synthesis Of Hydroxyapatite From Limestone By Using Precipitation Method, In: Journal Of Physics: Conference Series. P. 012058. Https://Doi.Org/10.1088/1742-6596/1462/1/012058

Strekeisen, A., 2006. Volcanic Rocks [WWW Document].

Suchanek, W., Yoshimura, M., 1998. Processing And Properties Of Hydroxyapatite-Based Biomaterials For Use As Hard Tissue Replacement Implants. J. Mater. Res. 13, 94–117. Https://Doi.Org/Https://Doi.Org/10.1557/JMR.1998.0015

Sukmana, I., Hendriyanto, A., Savetlana, S., Tarkono, 2018. The Effect Of Sintering Parameter On The Properties Of Hydroxyapatite From Local Limestone For Bone Implant Application, In: AIP Conference Proceedings. AIP Publishing LLC, P. 030039.

Susanti, D. N. (2018). Pengaruh Variasi Panjang Serat Nanas Terhadap Kekuatan Tarik Dan Impack Komposit Polyester-Serat Nanans (Doctoral dissertation, Universitas Muhammadiyah Semarang).

Suzuki, T., Hatsushika, T., Hayakawa, Y., 1981. Synthetic Hydroxyapatites Employed As Inorganic. J. Chem. Soc., Faraday Trans 1, 1059–1062. Https://Doi.Org/Https://Doi.Org/10.1039/F19817701059

Tadic, D., Epple, M., 2004. A Thorough Physicochemical Characterisation Of 14 Calcium Phosphate-Based Bone Substitution Materials In Comparison To Natural Bone. Biomaterials 25, 987–994. Https://Doi.Org/10.1016/S0142-9612(03)00621-5

Tikhenko, V.M., Fedorenko, Y.O., Prokopovich, I. V, 2016. Methodology Of Biochemical Stability Determination Of Compositional Systems Based On Hydroxyapatite. Mach. Build. Process Metall. Mater. Sci. 2429, 7–11. Https://Doi.Org/10.15276/Opu.3.50.2016.03

Twi.Co.Uk, 2020. How Are Glass, Ceramics And Glass-Ceramics Defined? [WWW Document]. TWI Ltd (Head Off. URL Https://Www.Twi-Global.Com/Technical-Knowledge/Faqs/Faq-How-Are-Glass-Ceramics-And-Glass-Ceramics-Defined#:~:Text=Materials That Are Initially Fabricated,Properties Are Called

Glass-Ceramics. (Accessed 5.21.20).

Warastuti, Y., Budianto, E., Darmawan, 2014. Sintesis Dan Karakterisasi Membran Komposit Hidroksiapatit Tulang Sapi-Khitosan-Poli(Vinil Alkohol) Untukaplikasi Biomaterial. J. Sains Mater. Indones. 16, 83–90.

Willert, H.G., Buchhorn, G.H., Fayyazi, A., Flury, R., Windler, M., Köster, G., Lohmann, C.H., 2005. Metal-On-Metal Bearings And Hypersensitivity In Patients With Artificial Hip Joints. J. Bone Jt. Surg. 87, 28–36.

Yelten, A., Yilmaz, S., 2019. No Title. Ceram. Int. 45, 15375–15384.

Yilmaz, S., Bayrak, G., Sen, S., Sen, U., 2006. Structural Characterization Of Basalt-Based Glass–Ceramic Coatings. Mater. Des. 27, 1092–1096. Https://Doi.Org/10.1016/J.Matdes.2005.04.004

Zulkarnain, I., 2011. Geochemical Evidence Of Island-Arc Origin For Sumatra Island ; A New Perspective Based On Volcanic Rocks In Lampung Province , Indonesia. J. Geol. Indones. 6, 213–225.

Zulkarnain, I., 2001. Rock Chemistry Of Quaternary Volcanics Around Manado And Siau Island, North Sulawesi. J. Teknol. Miner. 8, 37–52.