

**PENGARUH VARIASI PERSENTASE ZIRKON ($ZrSiO_4$) PADA
KERAMIK MODERN TERHADAP KEKERASAN DAN POROSITAS**

SKRIPSI

TEKNIK MESIN KONSENTRASI MANUFAKTUR

**Ditujukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik**



GHANA AWIYAKTA MALID

NIM. 145060201111071

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

FAKULTAS TEKNIK

MALANG

2018

LEMBAR PENGESAHAN
PENGARUH VARIASI PERSENTASE ZIRKON (Zr:SiO₂) PADA
KERAMIK MODERN TERHADAP KEKERASAN DAN POROSITAS

SKRIPSI

TEKNIK MESIN KONSENTRASI MANUFAKTUR

Ditujukan untuk memenuhi persyaratan memperoleh gelar Sarjana Teknik



GHANA AWYAKTA MALID
NIM. 145060201111071

Skripsi ini telah direvisi dan disetujui oleh dosen pembimbing pada tanggal 11 Juli 2018

DOSEN PEMBIMBING II

Bayu Satrya Wardhana, ST., M.Eng
NIP 19841007 201212 1 001

DOSEN PEMBIMBING I

Dr. Ir. Wahyono Suprpto, MT., Met.
NIP 19551117 198601 1 001

Mengetahui,
KETUA PROGRAM STUDI SI



Dr. Eng. Mega Nur Sasongko, ST., MT.
NIP 19740930 200012 1 001

JUDUL SKRIPSI :

**PENGARUH VARIASI PERSENTASE ZIRKON ($ZrSiO_4$) PADA KERAMIK MODERN
TERHADAP KEKERASAN DAN POROSITAS**

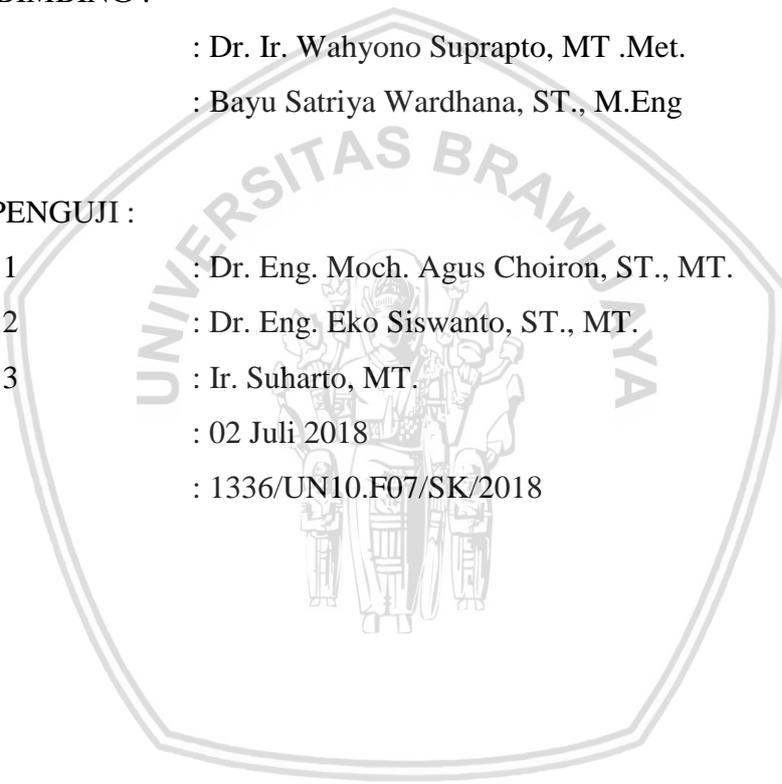
Nama Mahasiswa : Ghana Awiyakta Malid
NIM : 145060201111071
Program Studi : S1 Teknik Mesin
Konsentrasi : Manufaktur

KOMISI PEMBIMBING :

Pembimbing 1 : Dr. Ir. Wahyono Suprpto, MT .Met.
Pembimbing 2 : Bayu Satriya Wardhana, ST., M.Eng

TIM DOSEN PENGUJI :

Dosen Penguji 1 : Dr. Eng. Moch. Agus Choiron, ST., MT.
Dosen Penguji 2 : Dr. Eng. Eko Siswanto, ST., MT.
Dosen Penguji 3 : Ir. Suharto, MT.
Tanggal Ujian : 02 Juli 2018
SK Penguji : 1336/UN10.F07/SK/2018



PERNYATAAN ORISINALITAS SKRIPSI

Saya menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa sepanjang pengetahuan saya dan berdasarkan hasil penelusuran berbagai karya ilmiah, gagasan dan masalah ilmiah yang diteliti dan diulas di dalam Naskah Skripsi ini adalah asli dari pemikiran saya, tidak terdapat karya ilmiah yang pernah diajukan oleh orang lain untuk memperoleh gelar akademik di suatu Perguruan Tinggi, dan tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis dikutip dalam naskah ini dan disebutkan dalam sumber kutipan dan daftar pustaka.

Apabila ternyata di dalam naskah Skripsi ini dapat dibuktikan terdapat unsur-unsur jiplakan, saya bersedia Skripsi dibatalkan, serta diproses sesuai dengan peraturan perundang-undangan yang berlaku (UU No. 20 Tahun 2003, pasal 25 ayat 2 dan pasal 70).

Malang, 20 Juli 2018

Mahasiswa,



Ghana Awiyakta Malid

NIM. 145060201111071

UNIVERSITAS BRAWIJAYA



Teriring Ucapan Terima Kasih kepada :
ALLAH SWT dan NABI MUHAMMAD SAW
Papa dan Mama Tercinta
Agus Winarto dan Yayuk Sayekti
Adek Saya Tersayang
Jrga Awiyakta Aziz dan Biyan Awiyakta Ayubi

RINGKASAN

Ghana Awiyakta Malid, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, Juni 2018, *Pengaruh Variasi Persentase Zirkon ($ZrSiO_4$) pada Keramik Modern terhadap Kekerasan dan Porositas*, Dosen Pembimbing : Wahyono Suprpto dan Bayu Satriya Wardhana.

Keramik merupakan gabungan dari bahan anorganik yang dicampur dan dibentuk kemudian dibakar pada suhu tinggi sehingga terjadi glasisasi dan bersifat permanen. Keramik memiliki sifat refraktori yaitu tahan terhadap temperatur tinggi, akan tetapi *brittle* (rapuh). Oleh karena itu perlu bahan aditif yang bersifat kekerasan (*hardness*) dan ketangguhan (*toughness*) yang tinggi. Oleh karena itu pada penelitian ini menggunakan aditif Zirkon ($ZrSiO_4$) yang pada teorinya memiliki kekerasan sebesar 7,5 skala Mohs.

Pada penelitian ini bahan keramik yang digunakan adalah kaolin, *feldspar*, silika, dan menggunakan aditif zirkon. Dalam proses pembentukan menggunakan metode *pressure casting* yang bertujuan supaya partikel-partikel serbuk keramik sangat rapat dan padat, sehingga diharapkan menghasilkan kekerasan yang tinggi. Tekanan yang digunakan pada *hydraulic press* sebesar 200 kg/cm^2 dimana menghasilkan tekanan pada benda sebesar $220,6 \text{ kg/cm}^2$ dengan waktu penekanan selama 10 menit. Pada proses pembentukan ini dilakukan variasi persentase zirkon (10, 15, 20, dan 25%) untuk mengetahui pengaruhnya terhadap kekerasan dan porositas keramik. Kemudian dilakukan proses *sintering* pada *range* suhu $1100\text{-}1300^\circ\text{C}$ selama 8 jam dengan tujuan keramik matang sempurna disemua sisinya. Tetapi sebelum dilakukan proses *sintering* spesimen keramik yang telah di *press* didiamkan terlebih dahulu pada suhu kamar untuk memastikan bahwa kandungan air hilang supaya pada saat *sintering* keramik tidak pecah.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa persentase zirkon mempengaruhi besar kecilnya kekerasan dan porositas keramik. Semakin tinggi persentase zirkon, kekerasan yang dihasilkan semakin tinggi juga sedangkan porositas menurun. Dengan hasil data berdasarkan persentase zirkon 10, 15, 20, dan 25% kekerasan yang dihasilkan 13,96; 6,00; 6,16; dan 5,46 VHN serta porositas yang dihasilkan 11,57; 13,55; 13,06; dan 12,59%.

Kata kunci : zirkon, *pressure casting*, *sintering*, kekerasan, porositas

SUMMARY

Ghana Awiyakta Malid, *Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, University of Brawijaya, June 2018, Effect of Zircon (ZrSiO₄) Percentage Variation on Modern Ceramics to Hardness and Porosity, Academic Supervisor: Wahyono Suprpto and Bayu Satriya Wardhana.*

Ceramics is a combination of inorganic materials that are mixed and formed and then burned at high temperatures so that glacial and permanent occur. Ceramics have refractory properties that are resistant to high temperatures, but brittle. Therefore, it need for additive materials that are hardness and toughness is high. Therefore in this study using Zircon (ZrSiO₄) additive which in theory has a hardness of 7.5 Mohs scale.

In this study the materials used are kaolin, feldspar, silica, and using zircon additives. In the process of forming using pressure casting method that aims to ceramic powder particles very tight and dense, so it is expected to produce high hardness. The pressure applied to the hydraulic press is 200 kg/cm² which produces a pressure on the object of 220.6 kg/cm² with a pressure time of 10 minutes. In this forming process variations of zircon percentage (10, 15, 20, and 25%) were used to determine the effect on ceramic hardness and porosity. Then sintering process done at temperature range 1100-1300oC for 8 hours with perfect mature ceramic purpose in all sides. But before the process of sintering ceramic specimens have been in the press was silenced first at room temperature to ensure that the water content is lost so that when sintering ceramics do not break.

The results showed that the percentage of zircon influences the magnitude of hardness and porosity of ceramics. If percentage of zircon (ZrSiO₄) is increase, hardness is increase as well, however porosity is decrease. With the results of data based on the percentage of zircon 10, 15, 20, and 25% the hardness is 13,96; 6.00; 6.16; and 5.46 VHN and the porosity is 11.57; 13.55; 13.06; and 12.59%.

Keywords: zircon, pressure casting, sintering, hardness, porosity

PENGANTAR

Assalamu'alaikum w.r w.b. Alhamdulillah hirobbil 'alamin atas rahmat Allah SWT yang telah memberikan nikmat serta hidayah-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi dengan judul "Pengaruh Variasi Persentase Zirkon ($ZrSiO_4$) pada Keramik Modern Terhadap Kekerasan dan Porositas" dengan lancar dan baik.

Allahuma Sholli 'Ala Sayyidina Muhammad kepada Nabi Muhammad SAW yang telah memberikan akhlakul karimah serta panutan terbaik untuk umat manusia. Penulis ingin menyampaikan terima kasih kepada pihak yang telah mensupport dan membantu dalam terselesaikannya skripsi ini. Terima kasih kepada :

1. Allah SWT dan Nabi Muhammad SAW yang telah menjadi panutan dan pedoman dalam hidup saya.
2. Yang paling berpengaruh dan yang tak terlupakan dalam hidup dan hati penulis yaitu keluarga tercinta, Mama Yayuk Sayekti, Papa Agus Winarto, Dek Irga Awiyakta Aziz, dan Dek Biyan Awiyakta Ayubi.
3. Bapak Dr. Ir. Wahyono Suprpto, MT. Met. selaku dosen pembimbing I yang telah memberikan ilmu, arahan, motivasi, perilaku yang baik, dan ketersediaan waktunya untuk membimbing selama penyusunan skripsi ini.
4. Bapak Bayu Satriya Wardhana, ST., M.Eng selaku dosen pembimbing II yang telah memberikan arahan, motivasi, dan waktunya untuk membimbing kesempurnaan skripsi ini.
5. Bapak Ir. Djarot B. Darmadi, MT., Ph.D. selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin Universitas Brawijaya.
6. Bapak Teguh Dwi Widodo, ST., M.Eng. Ph.D. selaku Sekretaris Jurusan Teknik Mesin Universitas Brawijaya.
7. Bapak Dr. Eng. Mega Nur Sasongko, ST., MT. Selaku Ketua Program Studi S1 Jurusan Teknik Mesin Universitas Brawijaya.
8. Bapak Ir. Tjuk Oerbandono, MSc. CSE selaku Ketua Kelompok Dasar Keahlian Konsentrasi Manufaktur.
9. Ibu Francisca Gayuh Utami Dewi, ST., MT. Selaku dosen pendamping akademik.
10. Para Dosen dan Staff Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya yang telah membantu atas kelancaran dalam penyusunan skripsi ini.
11. Sahabat saya sejak kecil sampai sekarang Rismo.
12. Keluarga teman saya Gilang atas fasilitas yang diberikan dan dukungan selama saya mengerjakan skripsi.
13. Teman-teman Mesin 2014 yang telah mewarnai hidup saya selama 4 tahun atas solidaritas, kebersamaan, suka, dan duka.
14. Konco skripsi : Haq, Ikmal Duro, dan Dodo.
15. Konco pkl toyota : Mas Yudhis, Chairul Dii, Brillli, Desi, Delia.
16. Konco ASHAMUDA: Bang Imron, Mas Rifqi, Bedun, Wakyu, Bustanul, Topik, Rismen yang telah menemani di Pesantren Mahasiswa Al-Hikam.
17. Kabeh dulur Koponk Squad SMD48.

18. Konco Wakanda yang telah menemani perjalanan saya dari MI sampai sekarang.
19. Konco Ash-Sholihin Crew “Obat Rindu” yang spesial.
20. Dulur-dulur PAPArazi, terutama Ocil.
21. Karyawan Abadi Dental Laboratory yang telah memberikan ilmu dan fasilitas atas keberhasilan skripsi ini.
22. Keluarga besar dan teman-teman semua yang tentunya tidak bisa saya sebut satu persatu terima kasih.

Tidak lupa bahwa kesempurnaan hanya milik Allah SWT. sehingga penyusunan skripsi ini jauh dari kata sempurna. Oleh karena itu penulis mengharap kritik dan saran dari berbagai pihak untuk dapat memperbaiki diri pribadi penulis. Terima kasih Wassalamu’alaikum w.r w.b

Malang, 06 Juni 2018

Penulis



DAFTAR ISI

	Halaman
PENGANTAR	i
DAFTAR ISI	iii
DAFTAR TABEL	v
DAFTAR GAMBAR	vi
DAFTAR LAMPIRAN	vii
RINGKASAN	viii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Batasan Masalah.....	2
1.4 Tujuan Penelitian.....	2
1.5 Manfaat Penelitian.....	2
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	3
2.1 Penelitian Sebelumnya.....	3
2.2 Zirkon ($ZrSiO_4$).....	4
2.2.1 Sifat Fisik Zirkon ($ZrSiO_4$).....	5
2.3 Keramik.....	6
2.3.1 Jenis-Jenis Keramik.....	6
2.3.2 Bahan Baku Keramik.....	6
2.3.3 Proses Pembuatan Keramik Modern.....	10
2.3.4 Sifat-Sifat Keramik.....	14
2.4 Kekerasan.....	16
2.4.1 Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Kekerasan pada Keramik.....	16
2.5 Porositas.....	17
2.6 Pengujian.....	18
2.6.1 Pengujian Kekerasan.....	18
2.6.2 Pengujian Porositas.....	20
2.6.3 Pengujian In Vitro.....	20
2.7 Pembuatan Gigi Palsu.....	22
2.8 Hipotesis.....	24
BAB III METODE PENELITIAN	25
3.1 Metode Penelitian.....	25
3.2 Variabel Penelitian.....	25
3.3 Tempat dan Waktu Penelitian.....	26
3.4 Peralatan dan Bahan yang Digunakan.....	26
3.5 Skema Penelitian.....	30
3.6 Proses Pembuatan Spesimen.....	30



3.7 Dimensi Spesimen.....	31
3.8 Prosedur Penelitian.....	31
3.9 Rancangan Penelitian.....	31
3.10 Analisa Grafik.....	32
3.11 Diagram Alir Penelitian.....	33
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	35
4.1 Data Pengujian.....	35
4.2 Perhitungan.....	37
4.3 Pembahasan.....	39
4.4 Perbandingan Hasil Spesimen Keramik Berbentuk Gigi.....	43
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....	45
5.1 Kesimpulan.....	45
5.2 Saran.....	45
DAFTAR PUSTAKA	
LAMPIRAN	



DAFTAR TABEL

No.	Judul	Halaman
Tabel 2.1	<i>Zirconium Bearing Materials</i>	5
Tabel 2.2	<i>Physical Properties of Zr Silicates</i>	5
Tabel 2.3	Jenis-Jenis Keramik	6
Tabel 2.4	Bahan Baku Keramik	7
Tabel 2.5	Skala Mohs	18
Tabel 2.6	Karakteristik Berbagai Pengujian Kekerasan	19
Tabel 2.7	Perbandingan Pembuatan Gigi Palsu	23
Tabel 3.1	Bahan Baku	29
Tabel 3.2	Variasi bahan baku terhadap kekerasan	32
Tabel 3.3	Variasi bahan baku terhadap porositas	32
Tabel 4.1	Data Kekerasan Vickers Spesimen	35
Tabel 4.2	Data Pengukuran Berat Spesimen	36
Tabel 4.3	Data Hasil Pengujian Kekerasan	38
Tabel 4.4	Data Hasil Pengujian Porositas	39



DAFTAR GAMBAR

No.	Judul	Halaman
Gambar 2.1	Pasir Zirkon	4
Gambar 2.2	Bahan Baku Keramik: (a) Kaolin, (b) <i>Ball Clay</i> , (c) <i>Stoneware Clay</i> (d) <i>Earthenware Clay</i> , (e) <i>Fire Clay</i> , (f) <i>Bentonite</i> (g) Silika (h) <i>Flint</i> (i) <i>Feldspar</i> (j) Alumina (k) <i>Talc</i>	9
Gambar 2.3	Proses Pembentukan : (a) <i>Slip Casting</i> , (b) <i>Injection Molding</i> , (c) <i>Extrusion</i>	10
Gambar 2.4	<i>Pressure Casting</i>	11
Gambar 2.5	Ilustrasi pertumbuhan leher pada posisi kontak antara dua partikel.....	13
Gambar 2.6	Hubungan Suhu Sintering terhadap Perubahan Sifat-Sifat Material	13
Gambar 2.7	Hubungan antara kekerasan dan modulus Young bagi logam fcc dan kristal kovalen (struktur intan)	17
Gambar 2.8	Mekanisme Pengujian Vickers	20
Gambar 3.1	Alat ukur : (a) Timbangan elektrik, (b) <i>Pressure Gauge</i> , (c) Mesin pengguncang rotap, (d) <i>Thermometer</i> , (e) <i>Vickers Hardness Tester</i>	28
Gambar 3.2	Peralatan proses : (a) <i>Hydraulic Press</i> , (b) Tungku Pembakaran, (c) Cetakan Spesimen, (d) Cetakan Gigi	29
Gambar 3.3	Bahan Baku : (a) Kaolin, (b) Silika, (c) <i>Feldspar</i> , (d) Zirkon.....	30
Gambar 3.4	Skema Penelitian	30
Gambar 3.5	Desain Spesimen : (a) Spesimen Uji, (b) Aplikasi Gigi Zirkon	31
Gambar 4.1	Jejak hasil indentasi : (a) Hasil indentasi. (b) Jumlah titik indentasi.....	36
Gambar 4.2	Berat Spesimen : (a) Berat spesimen di udara, (b) Berat spesimen setelah di rendam dalam air	37
Gambar 4.3	Grafik Hubungan Antara Kekerasan terhadap Kadar Zirkon	39
Gambar 4.4	Grafik Hubungan Antara Porositas terhadap Kadar Zirkon	41
Gambar 4.5	Foto Mikrostruktur : (a) Permukaan Spesimen dengan Perbesaran 5000x. (b) Permukaan gigi asli dengan perbesaran 3000x.	42
Gambar 4.6	Perbandingan keramik berbentuk gigi	43



DAFTAR LAMPIRAN

No.	Judul	Halaman
Lampiran 1	Hasil Foto SEM.....	
Lampiran 2	Data Hasil Pengujian Kekerasan.....	



BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Keramik (*pottery*) merupakan salah satu kerajinan yang tertua. Benda-benda ini dibuat ribuan tahun yang lalu oleh orang-orang Mesir di tepi sungai Nil. Pada masa sekarang, keramik dibuat oleh perajin-perajin, distudio -studio keramik, juga di pabrik-pabrik seluruh dunia. Satu sebab mengapa pembuatan keramik hidup langgeng untuk sekian lama, karena benda tersebut merupakan kerajinan yang sederhana dan mempunyai kegunaan dalam arti pakai yang memberikan kepuasan pada pembuatnya dan pelayanan kepada pemakai.

Keramik dibuat dari gabungan bahan anorganik yang dibakar pada suhu tinggi sehingga terjadi *glasiasi* dan bersifat permanen. Pada dasarnya dibuat menggunakan campuran bahan *clay*, silika, dan kaolin. Keramik memiliki sejumlah sifat khas yang tidak dimiliki material lain. Sifat-sifat tersebut diantaranya adalah ketahanan terhadap suhu tinggi (refraktori), ketahanan terhadap reaksi kimia tertentu (korosi), dan memiliki sifat-sifat listrik dan mekanik yang bagus.

Secara garis besar keramik dibedakan menjadi dua jenis, yaitu keramik tradisional dan keramik modern. Keramik tradisional dibuat dengan menggunakan bahan alam, seperti kuarsa, kaolin, *feldspar*, dan *clay*. Proses pembuatannya menggunakan alat sederhana dan pembentukannya menggunakan tangan langsung. Contoh keramik tradisional adalah gerabah, genteng, batu bata, dan lain-lain. Sedangkan untuk keramik modern dibuat dengan campuran oksida-oksida logam seperti Al_2O_3 , ZrO_2 , SiO_2 , dan lain-lain. Proses pembuatan keramik modern juga menggunakan alat yang canggih dan pembentukannya menggunakan teknik *pressing*, *casting*, dan *inject*. Contoh dari keramik modern adalah gigi palsu (*prothesa*), busi (*sparkplug*), komponen turbin, dan lain-lain.

Dewasa ini, penggunaan zirkon sebagai adiktif pada keramik modern sangat berkembang pesat. Zirkon memiliki nilai kekerasan sebesar 7,5 Mohs. Dengan kekerasan yang tinggi tersebut, zirkon banyak digunakan sebagai bahan refraktori, seperti cetakan pada pengecoran dan bisa juga sebagai bahan pembuatan gigi palsu (*prothesa*). Atas dasar kekerasan yang tinggi tersebut, peneliti ingin melakukan penelitian bagaimana nilai kekerasan dari zirkon dalam hal ini sebagai bahan adiktif dari keramik yang diaplikasikan sebagai *prothesa*. Disamping meneliti nilai kekerasan, peneliti juga ingin meneliti

bagaimana porositas dari keramik zirkon itu sendiri apabila ditinjau dari penggunaannya sebagai *prothesa* yang pada kenyataannya dapat mengalami keropos. Dengan nilai kekerasan yang tinggi, seharusnya memiliki porositas yang rendah.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang tersebut, rumusan masalah yang muncul yaitu bagaimana pengaruh variasi persentase zirkon ($ZrSiO_4$) pada keramik modern terhadap kekerasan dan porositas?

1.3 Batasan Masalah

Agar tidak meluas permasalahan pada penelitian ini, maka batasan masalah dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mekanisme pengerasan pada keramik yang telah dicampur adiktif zirkon secara konvensional.
2. Campuran bahan baku dianggap terdistribusi secara merata.
3. Suhu pembakaran dianggap terdistribusi secara merata pada spesimen.
4. Proses pembuatan spesimen (pengadukan, *pressing*, dan *holding* temperatur) dilakukan secara konvensional.

1.4 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan yang ingin diperoleh dari penelitian ini adalah untuk mengetahui bagaimana pengaruh variasi persentase zirkon ($ZrSiO_4$) pada keramik modern terhadap kekerasan dan porositas.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah :

1. Penelitian ini bertujuan untuk memperoleh pengetahuan tentang pengaruh variasi komposisi bahan dan penambahan adiktif zirkon pada keramik modern terhadap kekerasan dan porositas.
2. Penelitian ini dapat memberikan suatu masukan yang bermanfaat bagi industri pembuatan keramik.
3. Dapat dijadikan referensi untuk mahasiswa teknik pada khususnya dalam penelitian selanjutnya mengenai karakteristik keramik.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Sebelumnya

Wardhana (2014), meneliti tentang pengaruh penambahan fraksi berat zirconia terhadap sifat fisik dan mekanik komposit aluminium diperkuat zirconia yang diproduksi dengan metalurgi serbuk. Serbuk ZrO_2 sebesar 0%, 2,5%, 5%, 7,5%, 10%, 12,5% dan 15% wt ditambahkan pada serbuk aluminium halus (dimensi partikel lebih kecil dari 40 μm). Setiap komposisi dicampur menggunakan mixer turbula selama 2 jam. Campuran itu ditekan secara uniaksial dengan tekanan 300 MPa. Kepadatan relatif, kekerasan vickers, dan kekuatan lentur dari AMC diuji. Hasilnya menunjukkan bahwa kekerasan meningkat dengan kadar ZrO_2 hingga 5% wt sedangkan tingkat keausan menurun. Kerapatan relatif dan kekerasan vickers komposit mengandung 5% ZrO_2 masing-masing 89%, 34 VHN.

Siregar (2017), meneliti tentang menghitung nilai kekerasan dan kekuatan patah keramik berpori *cordierite* ($2MgO, 2Al_2O_3 \cdot SiO_2$) secara simulasi dengan program *mathematica* 5.1. Variabel penelitian simulasi adalah suhu sintering 1200, 1250, 1300 dan 1350 °C selanjutnya dicampur dengan serbuk kayu sebesar 10, 15, 20, 25 dan 30% berat. Parameter penelitian adalah kekerasan dan kekuatan patah. Hasil simulasi menunjukkan bahwa dengan komposisi 20% serbuk kayu dan suhu sintering 1300°C menghasilkan nilai kekerasan 0,94 GPa dan kekuatan patah 1,22 MPa merupakan kondisi terbaik yang mendekati nilai literatur.

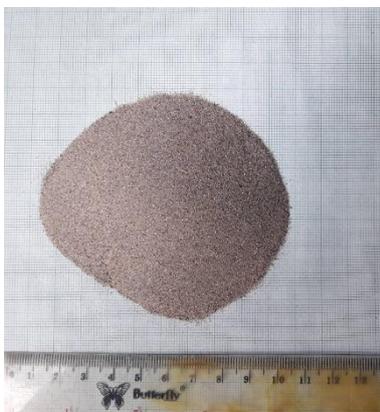
Maghfirah (2007), meneliti tentang pembuatan keramik paduan zirkonia (ZrO_2) dengan alumina (Al_2O_3) yang distabilkan dengan aditif CaO. Dimana bahan $ZrOCl_2 \cdot 8H_2O$ sebagai sumber ZrO_2 dan $CaCO_3$ sebagai sumber CaO, kemudian diperoleh fasa kubik zirkonia (c- ZrO_2) pada suhu sintering 1200°C yang tergolong fasa paling stabil terhadap perubahan suhu. Serbuk c- ZrO_2 yang dihasilkan kemudian dicampur dengan serbuk keramik alumina (Al_2O_3) dengan persentase berat 70% Al_2O_3 -30% ZrO_2 ; 60% Al_2O_3 -40% ZrO_2 ; 50% Al_2O_3 -50% ZrO_2 ; 40% Al_2O_3 - 60% ZrO_2 dengan variasi suhu sintering 1200°C, 1300°C, 1400°C, 1500°C, dan 1600°C. Hasil karakterisasi dari cuplikan yang telah disintering menunjukkan bahwa suhu sintering optimal adalah 1500°C untuk sampel keramik 70% Al_2O_3 - 30% ZrO_2 , dapat diperoleh porositas 1,12%, nilai kekerasan 1278,54 kgf/mm², ketangguhan 2,056 MPa.m^{1/2}. Dan suhu sintering optimal 1600°C untuk sampel

keramik 60% Al_2O_3 - 40% ZrO_2 , 50% Al_2O_3 -50% ZrO_2 ; 40% Al_2O_3 - 60% ZrO_2 diperoleh porositas 0,20%;4,75%; dan 12,67%, nilai kekerasan 1501,22 kgf/mm^2 , 1155,10 kgf/mm^2 , dan 1077,02 kgf/mm^2 .

2.2 Zirkon (ZrSiO_4)

Zirconium (Zr) adalah logam putih keabu-abuan yang menakjubkan dengan sifat unik yang membuatnya sangat penting untuk berbagai aplikasi industri, komersial, dan ilmiah. *Zirconium* (Zr) merupakan elemen paling banyak ke-20 di kerak bumi dan umumnya dalam bentuk zirkon mineral (ZrSiO_4), dalam bentuk silikat, dan lebih jarang di dalam mineral zirkonia (ZrO_2), dalam bentuk oksida. *Zirconium* pertama kali ditemukan di Jerman pada tahun 1789 oleh Martin H. Klaproth, yang menemukan unsur tersebut dengan menganalisis sampel mineral zirkon, Tingley (2015).

Zirconia (ZrO_2) juga merupakan salah satu bahan keramik yang memiliki beberapa keunggulan dibandingkan dengan beberapa jenis keramik lainnya, diantara keunggulannya tersebut antara lain adalah mempunyai ketangguhan dan *strength* yang relatif tinggi. Dibalik keunggulannya tersebut, *zirconia* juga mempunyai beberapa kelemahan yang antara lain adalah dimana bentuk kristalnya sangat tidak stabil, dalam arti kata bahwa *zirconia* dialam hampir tidak pernah dijumpai dalam bentuk senyawa tunggal (ZrO_2), tetapi selalu bercampur dengan senyawa lain. Seperti misalnya dialam pada umumnya dijumpai dalam bentuk senyawa *Zirconium Silikat* (ZrSiO_4) yang biasa disebut sebagai pasir zirkon, sehingga bila ingin mendapatkan senyawa *zirconium* murni maka perlu dimurnikan atau distabilkan terlebih dahulu, Priyono (2012).



Gambar 2.1 Pasir Zirkon

Beberapa macam senyawa zirconium tercantum pada tabel 2.1 dibawah.

Tabel 2.1
Zirconium Bearing Minerals

Mineral	Chemical formula	Specific gravity	Hardness (Mohs' scale)	ZrO ₂ content (%)
Zircon	ZrSiO ₄	4,2-4,86	7,5	63-67
Baddeleyite	ZrO ₂	5,5-6	6,5	98-100
Eudialyte	(NaCaFe) ₆ Zr(OH,Cl) (SiO ₃) ₆	2,9-3	5-5,5	1,2
Caldasite	Mixture of fibrous bad deleyite, zircon, altered zircon, and other minerals	-	-	60-75
Vlasovite	Na ₂ ZrSi ₄ O ₁₁	2,97	6	29
Gittinsite	CaZrSi ₂ O ₇	3,6	3,5-4	40,3
Zirkelite	(CaFe)(ZrTiTh) ₂ O ₅	4,7	5,5	-

Sumber : Tingley (2015,p.8)

2.2.1 Sifat Fisik Zirkon (ZrSiO₄)

Zirkon (ZrSiO₄) memiliki sifat fisik yang tercantum dalam tabel 2.2.

Tabel 2.2
Physical Properties of Zr Silicates

Property	ZrSiO ₄	Complex silicates
Melting point (°C)	2100-2300 (Zr sand)	Na ₂ ZrSi ₂ O ₇ , 1470 Rb ₂ ZrSi ₂ O ₇ , >1350
Transition temperature (°C)	-	NaHZrSiO ₅ , 300 Na ₂ ZrSi ₂ O ₇ , 1120 Na ₂ Zr ₂ Si ₂ O ₉ , 850
Heat capacity (J deg ⁻¹ mole ⁻¹)	4.1868*[31.48+(3.92x10 ⁻³)T -(8.08x10 ⁻⁵)T ²] (at 25-1500°C)	
Specific gravity	4.7 (α ²) 3.9 – 4 (γ ²)	Rb ₂ ZrSi ₂ O ₇ , 3.84
Resistivity (ohm.cm)	9.9x10 ¹³ (at 200°C) 2.2x10 ¹⁰ (at 450°C)	
Dielectric constant	12 (at 17-22°C) 8.51 (at 450°C)	
Hardness (Mohs)	7.0 – 7.5 (Zr sand)	
Coefficient of linear expansion (cm/cm.°C)	7.2x10 ⁻⁶ (Zr sand at 93.3-1093.3°C)	

Sumber : Tingley (2015,p.29)

2.3 Keramik

Kata keramik berasal dari bahasa Yunani “*Keramos*” yang berarti periuk atau belanga yang dibuat dari tanah. Sedang yang dimaksud dengan barang/bahan keramik ialah semua barang/bahan yang dibuat dari bahan-bahan tanah/batuan silikat dan yang proses pembuatannya melalui pembakaran pada suhu tinggi, Astuti (1997).

Keramik merupakan gabungan bahan anorganik yang dibakar pada suhu tinggi sehingga terjadi glasisasi dan bersifat permanen. Keramik sebagai suatu hasil seni dan sains untuk dapat menghasilkan barang dari tanah liat yang dibakar, seperti gerabah, genteng, porselin dan sebagainya. Tetapi saat ini tidak semua keramik berasal dari tanah liat. Tetapi ada keramik dari bahan logam yaitu (Al_2O_3 , ZrO_2 , MgO , dll).

2.3.1 Jenis-Jenis Keramik

Jenis-jenis keramik tercantum dalam tabel 2.3.

Tabel 2.3
Jenis-Jenis Keramik

Sifat	Jenis	
	<i>Traditional Ceramics</i>	<i>Fine Ceramics</i>
Bahan	Bahan alam (kuarsa, kaolin, <i>feldspar</i> , clay)	Campuran oksida logam (Al_2O_3 , ZrO_2 , MgO)
Proses pembentukan	Menggunakan alat sederhana dengan teknik pijit, teknik pilin, dan teknik lempengan	Menggunakan alat yang modern dengan proses <i>pressing</i> , <i>casting</i> , <i>injection</i> .
Suhu pembakaran	< 1200 °C	1200 – 2000 °C
Sifat permukaan	Kurang mengkilap, warna kurang baik dan cenderung kasar	Lebih mengkilap, warna lebih baik dan cenderung halus
Contoh	Gerabah, genteng, dll.	Busi kendaraan, <i>Prothesa</i> (Gigi palsu), dll.

Sumber : Astuti (1997)

2.3.2 Bahan Baku Keramik

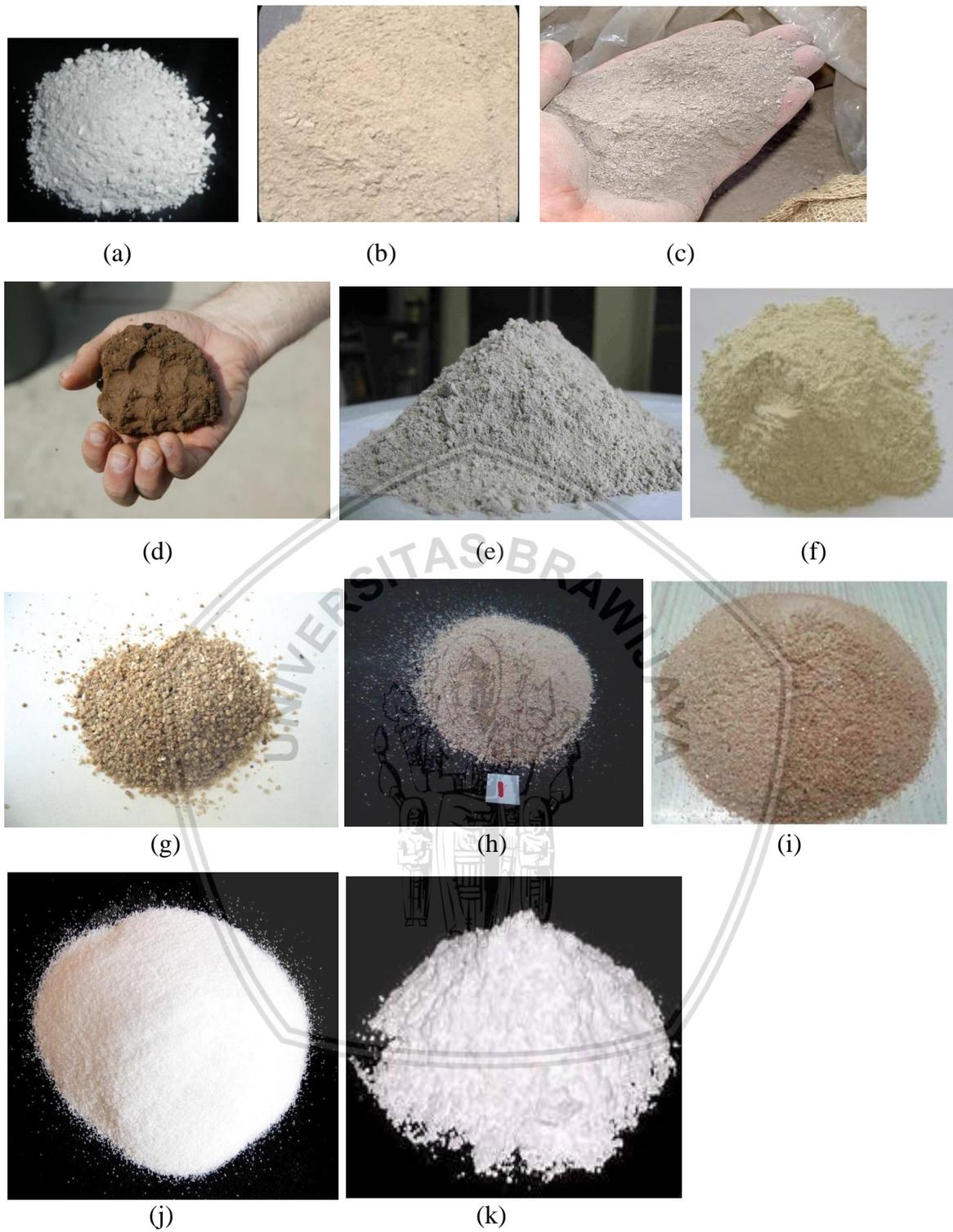
Jenis-jenis bahan baku keramik terdapat pada tabel 2.4, Astuti (1997).

Tabel 2.4
Bahan Baku Keramik

No.	Jenis	Definisi	Sifat
a.	Kaolin	Tanah liat yang mengandung mineral <i>kaolinite</i> sebagai bagian yang terbesar (tanah liat primer).	<ul style="list-style-type: none"> - Berbulir kasar - Rapuh dan tidak plastis - Warna putih - Berbutir sangat halus - Sangat plastis - Kurat kering tinggi
b.	<i>Ball Clay</i>	Tanah liat yang sangat plastis untuk keramik, bentuknya dialam seperti bola-bola (tanah liat sekunder).	<ul style="list-style-type: none"> - Susut kering dan susut bakar tinggi - Unsur oksida besi cukup tinggi - Warna mentah abu-abu - Plastis
c.	<i>Stoneware clay</i>	Jenis lempung sedimen, banyak mengandung mineral <i>feldspar</i> yang tergabung dengan tanah plastis.	<ul style="list-style-type: none"> - Pengeringannya baik - Kadar besi oksida dan titan oksida agak tinggi - Warna mentah abu-abu - Plastis dan agak rapuh - Warna bakarnya kuning, jingga, merah, coklat, sampai hitam
d.	<i>Earthenware clay</i>	Dipakai untuk pembuatan gerabah atau bata merah. Merupakan tanah sekunder dan banyak mengandung oksidasi.	<ul style="list-style-type: none"> - Warna mentahnya merah, coklat, kehijauan atau abu-abu - Tahan api (refractory) dan suhu tinggi - Tekstur kasar
e.	<i>Fire clay</i>	Termasuk jenis lempung sekunder.	<ul style="list-style-type: none"> - Partikel sangat halus
f.	<i>Bentonite</i>	Lempung dengan sifat plastis tinggi. Berasal dari pelapukan batuan vulkanik yang banyak mengandung silika.	<ul style="list-style-type: none"> - Banyak mengandung silika halus

No.	Jenis	Definisi	Sifat
g.	Silika	Merupakan bahan yang paling penting dari semua bahan-bahan keramik. Terdapat dalam pasir silika.	<ul style="list-style-type: none"> - Mengurangi susut kering - Mengurangi susut waktu dibakar - Melindungi rangka selama pembakaran - Bahan penambah untuk membuat keramik
h.	<i>Flint</i>	Disebut juga agat komposisi SiO ₂ murni.	<ul style="list-style-type: none"> - Ditambahkan pada glasir untuk mengurangi retak-retak (<i>crazing</i>).
i.	<i>Feldspar</i>	Merupakan bagian terbesar dari batuan beku asam jenis granit atau pegmatit, berwarna putih relatif lunak dan dapat memberikan hingga 25% <i>flux</i> (pelebur) pada keramik.	<ul style="list-style-type: none"> - Memberi kekuatan dan kekakuan pada keramik. - Banyak dipakai dalam keramik halus.
j.	Alumina	Alumina jarang didapatkan dalam bentuk murni, salah satu bentuk yang paling murni adalah bauksit. Secara terpisah, alumina tidak akan lebur hingga 2000°C, namun apabila ditambahkan pada silika murni, maka suhu leburnya menjadi 1545°C.	<ul style="list-style-type: none"> - Mengontrol dan mengimbangi pelelehan - Memberikan kekuatan pada badan maupun gelasir
k.	<i>Talc</i>	Merupakan mineral yang banyak mengandung magnesium.	<ul style="list-style-type: none"> - Banyak dipakai sebagai bahan pengisi (<i>filler</i>) dan beberapa bahan penutup pada keramik - Mensuplai <i>flux</i> dan silika untuk badan keramik

Sumber : Astuti (1997)



Gambar 2.2 Bahan Baku Keramik: (a) Kaolin, (b) *Ball Clay*, (c) *Stoneware Clay* (d) *Earthenware Clay*, (e) *Fire Clay*, (f) *Bentonite* (g) Silika (h) *Flint* (i) *Feldspar* (j) Alumina (k) *Talc*

Sumber : Astuti (1997)

2.3.3 Proses Pembuatan Keramik Modern

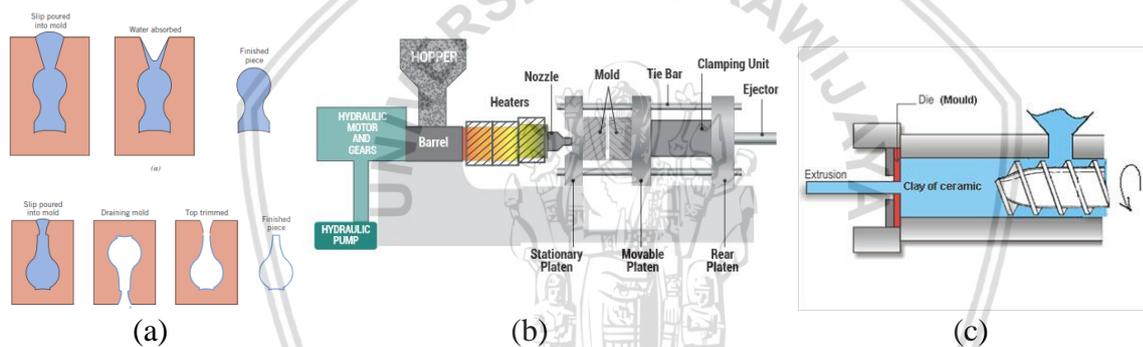
Proses pembuatan keramik modern melalui beberapa tahap, yaitu :

A. Pembentukan

Serbuk bahan keramik dapat diproses menjadi bentuk yang berbeda-beda dengan beragam proses pembentukan (*molding*). Proses pembentukan ini diantaranya adalah *slip casting*, *pressure casting*, *injection molding*, dan *extrusion* (pada gambar 2.3). Setelah dibentuk, keramik kemudian dibakar dengan proses yang dikenal dengan nama *sintering* (pembakaran) agar material yang terbentuk lebih kuat dan padat.

1. Slip Casting

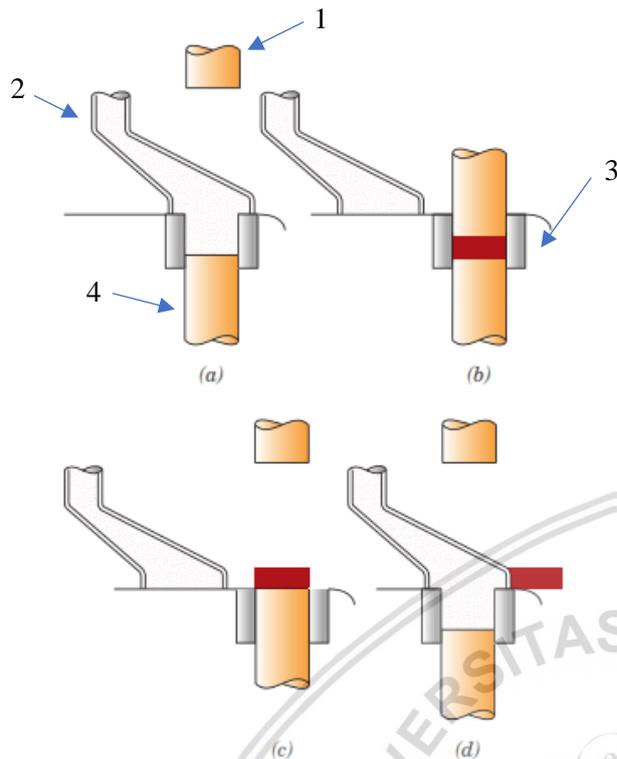
Slip casting adalah proses untuk membuat keramik yang berlubang. Proses ini menggunakan cetakan dengan dinding yang berlubang-lubang kecil dan memanfaatkan daya kapilaritas air.



Gambar 2.3 Proses Pembentukan : (a) *Slip Casting*, (b) *Injection Molding*, (c) *Extrusion*
 Sumber : Callister (1940, p.478)

2. Pressure Casting

Pada proses ini, bubuk keramik dituangkan pada cetakan dan diberi tekanan. Tekanan tersebut membuat bubuk keramik menjadi lapisan solid keramik yang berbentuk seperti cetakan.



Gambar 2.4 Pressure Casting : (a) Gerakan Mengisi, (b) Gerakan Menekan, (c) Gerakan Mendorong, (d) Gerakan Menggeser
Sumber : Callister (1940, p.482)

- a. Gerakan mengisi. *Punch* (1) masih berada diatas, kemudian serbuk dimasukkan ke dalam cetakan melalui corong yang melengkung (2).
- b. Gerakan menekan. Setelah serbuk mengisi cetakan (3), corong akan bergerak menjauhi cetakan dan *punch* menekan serbuk.
- c. Gerakan mendorong. Setelah proses penekanan, *punch* akan terangkat ke atas, begitu juga *dies* (4) akan mendorong spesimen ke atas permukaan.
- d. Gerakan menggeser. Setelah spesimen diatas permukaan cetakan, corong akan menggeser spesimen dan menempati rongga cetakan kembali untuk pengisian serbuk lagi.

3. Injection Molding

Proses ini digunakan untuk membuat objek yang kecil dan rumit. Metode ini menggunakan piston untuk menekan bubuk keramik melalui pipa panas masuk ke cetakan. Pada cetakan tersebut, bubuk keramik didinginkan dan mengeras sesuai dengan bentuk cetakan. Ketika objek tersebut telah mengeras, cetakan dibuka dan bagian keramik dipisahkan.

4. *Extrusion*

Extrusion adalah proses kontinu yang mana bubuk keramik dipanaskan didalam sebuah tong yang panjang. Terdapat baling-baling yang memutar dan mendorong material panas tersebut kedalam cetakan. Karena prosesnya yang kontinu, setelah terbentuk dan didinginkan, keramik dipotong pada panjang tertentu. Proses ini digunakan untuk membuat pipa keramik, ubin dan bata modern.

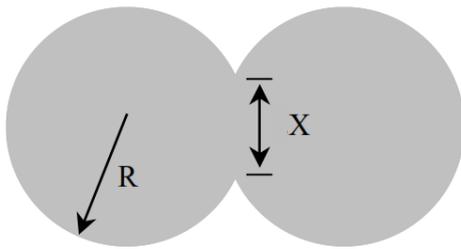
B. Pembakaran (*Sintering*)

Sintering adalah suatu proses pembakaran keramik setelah melalui proses pencetakan sehingga diperoleh suatu produk keramik yang kuat dan lebih padat. *Sintering* merupakan salah satu langkah pada proses produksi keramik, dimana kualitas suatu produk keramik sangat ditentukan sekali pada tahap ini. Suhu pembakaran pada proses *sintering* sangat tergantung sekali dengan jenis bahan keramik, umumnya sekitar 80-90% dari titik lebur campuran bahan baku yang digunakan (pada penelitian ini menggunakan range suhu 1100-1300°C). Selama berlangsungnya proses *sintering* akan terjadi pengurangan pori, penyusutan dan perubahan ukuran butir. Terjadinya pengurangan pori dan pertumbuhan butir (*grain growth*) selama proses *sintering* akibat proses difusi diantara butir. Jenis proses difusi akan memberikan efek terhadap perubahan sifat-sifat fisis yaitu perubahan densitas, pengurangan pori dan penyusutan disebabkan karena adanya difusi volum dan difusi batas butir. Akibatnya material keramik yang telah mengalami proses *sintering* akan semakin padat.

Faktor-faktor yang menentukan proses dan mekanisme *sintering* adalah : jenis bahan, komposisi, bahan pengotornya dan ukuran partikel. Menurut Reynen, 1979 dan Ristic, 1989 proses *sintering* dapat berlangsung apabila :

1. Adanya perpindahan materi diantara butiran yang disebut proses difusi.
2. Adanya sumber energi yang dapat mengaktifkan transfer materi, energi tersebut digunakan untuk menggerakkan butiran hingga terjadi kontak dan ikatan yang sempurna.

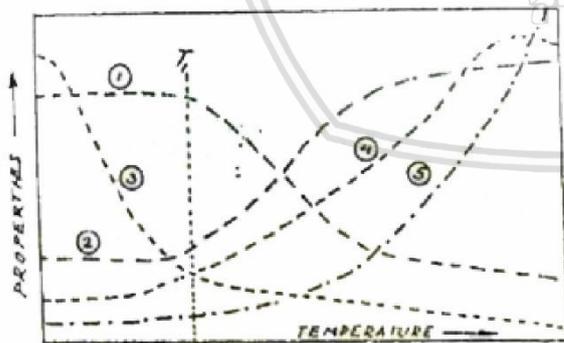
Energi untuk menggerakkan proses *sintering* disebut gaya dorong (*driving force*) yang ada hubungannya dengan energi permukaan butiran (γ). Gaya dorong tersebut dapat diilustrasikan dari dua buah bola yang berukuran sama saling kontak dengan ukuran kontak x seperti ditunjukkan pada gambar 2.3. Gaya dorong (σ) untuk terjadinya kontak tersebut dapat bersifat tekan bila lekukan kontak (*neck*) tersebut cembung dan bersifat tarik bila lekukan kontak (*neck*) tersebut cekung, Ristic (1989).



Gambar 2.5 Ilustrasi pertumbuhan leher pada posisi kontak antara dua partikel
 Sumber : Abdullah (2009)

Ketika material yang disusun oleh partikel-partikel tersebut dibakar maka luas permukaan kontak partikel tumbuh, namun ruang kosong antar partikel tetap ada, meskipun bentuknya berubah. Tidak mungkin menghilangkan ruang kosong kecuali terjadi penyusutan volume total material atau perubahan jarak antar atom (makin besar). Dengan demikian, dalam keramik yang sedang dibakar, ruang kosong didalamnya tetap ada, Abdullah (2009).

Beberapa parameter yang dapat dijadikan acuan untuk mengevaluasi proses *sintering* material keramik adalah : porositas, densitas, sifat listrik, kekuatan mekanik, dan ukuran butir. Hubungan antara parameter tersebut terhadap suhu sintering untuk keramik secara umum ditunjukkan pada Gambar 2.5.



Keterangan : (1) Porositas, (2) Densitas, (3) Sifat Elektrik, (4) Kekuatan Mekanik, (5) Ukuran Butir (*grain size*)

Gambar 2.6 Hubungan Suhu Sintering terhadap Perubahan Sifat-Sifat Material
 Sumber : Ristic (1989)



2.3.4 Sifat-Sifat Keramik

Secara umum keramik merupakan paduan antara logam dan non logam, senyawa paduan tersebut memiliki ikatan ionik dan ikatan kovalen. Berikut merupakan sifat-sifat dari keramik:

1. Sifat Mekanik

Keramik merupakan material yang sangat kuat, keras dan juga tahan korosi. Selain itu keramik memiliki kerapatan yang rendah dan juga titik lelehnya yang tinggi. Kelemahan utama keramik adalah kerapuhannya, yakni kecenderungan untuk patah tiba-tiba dengan deformasi plastik yang sedikit. Ini diakibatkan karena kombinasi dari ikatan ion dan kovalen dan partikel-partikelnya tidak mudah bergeser.

Faktor rapuh terjadi bila pembentukan dan propagasi keretakan yang cepat. Dalam padatan kristalin, retakan tumbuh melalui butiran (trans granular) dan sepanjang bidang cleavage (keretakan) dalam kristalnya. Permukaan tempat putus yang dihasilkan mungkin memiliki tekstur yang penuh butiran atau kasar. Material yang amorf tidak memiliki butiran dan bidang kristal yang teratur, sehingga permukaan putus kemungkinan besar terjadi. Kekuatan tekan penting untuk keramik yang digunakan untuk struktur seperti bangunan. Kekuatan tekan keramik biasanya lebih besar dari kekuatan tariknya. Untuk memperbaiki sifat ini biasanya keramik diberi tekanan awal dalam keadaan tertekan.

2. Sifat Termal

Sifat termal bahan keramik adalah kapasitas panas, koefisien ekspansitermal, dan konduktivitas termal. Kapasitas panas bahan adalah kemampuan bahan untuk mengabsorpsi panas dari lingkungan. Panas yang diserap disimpan oleh padatan antara lain dalam bentuk vibrasi (getaran) atom/ion penyusun padatan tersebut. Keramik biasanya memiliki ikatan yang kuat dan atom-atom yang ringan. Jadi getaran-getaran atom-atomnya akan berfrekuensi tinggi, karena ikatannya kuat maka getaran yang besar tidak akan menimbulkan gangguan yang terlalu banyak pada kisi kristalnya. Sebagian besar keramik memiliki titik leleh yang tinggi, artinya walaupun pada temperatur yang tinggi material ini dapat bertahan dari deformasi dan dapat bertahan dibawah tekanan tinggi. Akan tetapi perubahan temperatur yang besar dan tiba-tiba dapat melemahkan keramik. Kontraksi dan ekspansi pada perubahan temperatur tersebutlah yang dapat membuat keramik pecah.

3. Sifat Elektrik

Sifat listrik bahan keramik sangat bervariasi. Keramik dikenal sangat baik sebagai isolator. Beberapa isolator keramik (seperti BaTiO_3) dapat dipolarisasi dan digunakan sebagai kapasitor. Keramik lain menghantarkan elektron bila energi ambangnya dicapai, dan oleh karena itu disebut semikonduktor. Elektron valensi dalam keramik tidak berada di pita konduksi, sehingga sebagian besar keramik adalah isolator. Beberapa keramik memiliki sifat piezoelektrik, atau kelistrikan tekan. Sifat ini merupakan bagian bahan “canggih” yang sering digunakan sebagai sensor. Dalam bahan piezoelektrik, penerapan gaya atau tekanan dipermukaannya akan menginduksi polarisasi dan akan terjadi medan listrik, jadi bahan tersebut mengubah tekanan mekanis menjadi tegangan listrik. Bahan piezoelektrik digunakan untuk transduser, yang ditemui pada mikrofon, dan sebagainya. Dalam bahan keramik, muatan listrik dapat juga dihantarkan oleh ion-ion. Sifat ini dapat diubah-ubah dengan merubah komposisi dan merupakan dasar banyaknya aplikasi komersial, dari sensor zat kimia sampai generator daya listrik skala besar.

4. Sifat Optik

Bila cahaya mengenai suatu obyek cahaya dapat ditransmisikan, diabsorpsi, atau dipantulkan. Bahan bervariasi dalam kemampuan untuk mentransmisikan cahaya, dan biasanya dideskripsikan sebagai transparan. Material yang transparan, seperti gelas mentransmisikan cahaya dengan difusi, seperti gelas terfrosted disebut bahan translusen. Dua mekanisme penting interaksi cahaya dengan partikel dalam padatan adalah polarisasi elektronik dan transisi elektron antar tingkat energi. Polarisasi adalah distorsi awan elektron atom oleh medan listrik dari cahaya. Sebagai akibat polarisasi, sebagian energi dikonversikan menjadi deformasi elastik (fonon), dan selanjutnya panas.

5. Sifat Kimia

Salah satu sifat khas dari keramik adalah kestabilan kimia. Sifat kimia dari permukaan keramik dapat dimanfaatkan secara positif. Kalau oksida logam dipanaskan pada kira-kira 500 C, permukaannya menjadi bersifat asam atau bersifat basa. Alumina, zeolit, lempung asam atau $\text{S}_2\text{O}_2 - \text{TiO}_2$ demikian juga berbagai oksida biner dipakai sebagai katalis, yang memanfaatkan aksi katalitik dari titik bersifat asam dan basa pada permukaan.

6. Sifat Fisik

Sebagian besar keramik adalah ikatan dari karbon, oksigen atau nitrogen dengan material lain seperti logam ringan dan semilogam. Hal ini menyebabkan keramik biasanya memiliki densitas yang kecil. Sebagian keramik yang ringan mungkin dapat sekeras logam yang berat. Keramik yang keras juga tahan terhadap gesekan. Senyawa keramik yang paling keras adalah berlian, diikuti boron nitrida pada urutan kedua dalam bentuk kristal kubusnya. Aluminium oksida dan silikon karbida biasa digunakan untuk memotong, menggiling, menghaluskan dan menghaluskan material-material keras lain.

2.4 Kekerasan

Kekerasan adalah salah satu sifat mekanik yang dapat diartikan sebagai ketahanan material terhadap deformasi yaitu indentasi atau penetrasi. Pengujian kekerasan bertujuan untuk mengukur ketahanan dari suatu material terhadap deformasi plastis. Deformasi plastis itu sendiri adalah keadaan dari suatu material ketika material tersebut diberikan gaya maka struktur mikro dari material tersebut sudah tidak bisa kembali ke bentuk asal, Material Testing Book (2015).

Penekanan pada bahan getas seperti keramik dalam banyak hal mengakibatkan retakan lokal mengikuti deformasi elastis. Sukar sekali menghubungkan secara teoritis antara kekerasan yang memiliki proses rumit tersebut dengan sifat-sifat fisiknya. Tetapi secara empiris diketahui bahwa ada hubungan antara tegangan patah dengan kekerasan Vickers (H), $= H/n$, di mana n berkisar sekitar 3 untuk logam dan 30-50 untuk keramik, Surdia (1999).

2.4.1 Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Kekerasan pada Keramik

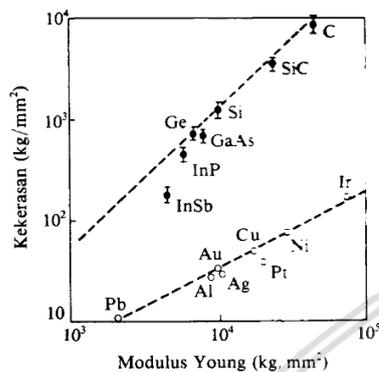
Fasa keramik keras karena biasanya tidak dapat mengalami deformasi plastik. Kekerasan pada keramik dipengaruhi oleh beberapa faktor sebagai berikut.

a. Struktur keramik

Sifat keramik yang umumnya keras dapat dikaitkan secara langsung dengan strukturnya. Keramik mempunyai struktur kristalin. Struktur keramik tidak banyak elektron bebasnya. Elektron-elektron itu dibagi dengan atom-atom yang berdekatan dalam ikatan kovalen atau berpindah dari atom yang satu ke atom lainnya membentuk ikatan ion. Ikatan ion menyebabkan bahwa bahan keramik mempunyai stabilitas yang

relatif tinggi. Hal tersebut yang menyebabkan keramik lebih keras dan tahan terhadap perubahan-perubahan kimia, Vlack (1991).

Terdapat hubungan tertentu antara kekerasan dan modulus Young yang secara eksperimen diketahui dipengaruhi oleh jenis dan ikatan kristal. Seperti ditunjukkan dalam gambar 2.3.



Gambar 2.7 Hubungan antara kekerasan dan modulus Young bagi logam fcc dan kristal kovalen (struktur intan)
Sumber : Surdia (1999,p.307)

b. Proses *Sintering*

Pada saat proses *sintering* (pemanasan) lama waktu dan suhu pemanasan sangat berpengaruh pada kekerasan yang dihasilkan. Semakin lama waktu pemanasan maka ukuran leher makin besar sehingga ikatan antar partikel makin kuat, Abdullah (2009).

2.5 Porositas

Porositas adalah perbandingan volume rongga pori-pori terhadap volume total dari suatu material keramik. Porositas dapat dibagi menjadi tiga jenis, yaitu *open pore*, *closed pore*, dan *interconnected pore*.

Open pore adalah pori yang terdapat di permukaan keramik akibat *imperfect packing* dan gas yang keluar saat keramik dikeringkan dan dibakar. *Closed pore* adalah pori yang terdapat di dalam keramik akibat gas yang terperangkap dan tidak dapat keluar. Sedangkan *interconnected pore* merupakan saluran yang menghubungkan satu *open pore* dan *open pore* yang lain.

Porositas memberikan efek yang signifikan terhadap sifat keramik yang dihasilkan seperti densitas, konduktivitas termal, dan *crack resistance*. Semakin sedikit porositas,

densitas dan konduktivitas termal akan semakin tinggi, Modul Laboratorium Metalurgi dan Teknik Material ITB (2016).

2.6 Pengujian

2.6.1 Pengujian Kekerasan

Pengujian kekerasan adalah satu dari sekian banyak pengujian yang dipakai, karena dapat dilaksanakan pada benda uji yang kecil tanpa kesukaran mengenai spesifikasi, Surdia (1999).

Pengujian kekerasan dibedakan menjadi 3 macam metode, yaitu :

a. Metode Goresan

Yaitu dengan cara menggosokkan material dengan mineral yang telah diketahui kekerasannya. Adapun mineral yang telah diketahui kekerasannya digunakan sebagai standar dan diberikan dalam suatu skala yang dikenal dengan Skala Mohs, dari skala 1 untuk mineral terluak (*talca*) sampai skala tertinggi 10 untuk mineral intan. Prinsip metode ini adalah dengan menggosokkan berbagai material yang mana sebuah material tidak dapat menggosok material dengan skala Mohs di atasnya.

Tabel 2.5
Skala Mohs

<i>Mohs' scale</i>		<i>Extension of Mohs' scale</i>	
<i>Hardness no.</i>	<i>Reference mineral</i>	<i>Hardness no.</i>	<i>Reference mineral</i>
1	<i>Talc</i>	1	<i>Talc</i>
2	<i>Gypsum</i>	2	<i>Gypsum</i>
3	<i>Calcite</i>	3	<i>Calcite</i>
4	<i>Fluorite</i>	4	<i>Fluorite</i>
5	<i>Apatite</i>	5	<i>Apatite</i>
6	<i>Feldspar (orthoclase)</i>	6	<i>Orthoclase</i>
		7	<i>Vitreous pure silica</i>
7	<i>Quartz</i>	8	<i>Quartz</i>
8	<i>Topaz</i>	9	<i>Topaz</i>
		10	<i>Garnet</i>
		11	<i>Fused zirconia</i>
9	<i>Sapphire or corundum</i>	12	<i>Fused alumina</i>
		13	<i>Silicon carbide</i>
		14	<i>Boron carbide</i>
10	<i>Diamond</i>	15	<i>Diamond</i>

Sumber : Davis (1964)

b. Metode Dinamik

Yaitu dengan menjatuhkan indenter keatas permukaan logam dari suatu ketinggian tertentu, kekerasan dinyatakan sebagai gaya/energi impak. Pengujian ini menggunakan alat bernama *Shore Scleroscope*.

c. Metode Indentasi

Yaitu dengan cara memberikan gaya tekan melalui indenter pada permukaan logam. Jejak yang terbentuk selanjutnya digunakan sebagai ukuran dalam menentukan kekerasan logam. Indenter dapat berupa bola atau piramida. Pengukuran kekerasan dengan metode indentasi dapat digunakan untuk mengukur kekerasan logam secara makro maupun mikro, dengan metode Brinell, Rockwell, dan Vickers, Material Testing Book (2015).

Tabel 2.6
Karakteristik Berbagai Pengujian Kekerasan

Cara pengujian	Brinell (H _R)	Rockwell (H _R A, H _R C etc.)	Rockwell superficial (H _R 30T, H _R 30N dst)	Vickers (H _V)	Kekerasan mikro (H _V)	Shore (H _s)
Penekan	Bola baja 10 mm ø Karbida	Kerucut intan 120°; Bola baja 1/16"-1/2"	Kerucut intan 120°; Bola baja 1/16"-1/2"	Piramida intan sudut bidang berhadapan 136°	Jenis Vickers Jenis Knoop sudut 130°, 172°	Palu intan 3 g
Beban	500-3000 kg	Beban mula 10 kg, beban total 60, 100, 150 kg	Beban mula 3 kg, beban total 15, 30 dan 45 kg	1-120 kg	1-500 g	
Kekerasan	Beban/Luas penekanan	Dalamnya penekanan	Dalamnya penekanan	Beban/Luas penekanan	Beban/Luas penekanan	Tinggi pantulan 6,5" dari 10" tinggi pantulan asal adalah 100

Sumber : Surdia (1999,p.32)

Pengujian kekerasan yang digunakan pada penelitian ini adalah dengan metode indentasi, yaitu dengan metode *vickers*. Sesuai dengan standar ASTM C1327-15, prinsip dari uji kekerasan vickers adalah besar beban dibagi dengan luas daerah indentasi atau bisa dirumuskan sebagai berikut :

$$\text{VHN} = \frac{2P \sin\left(\frac{\theta}{2}\right)}{D^2} \dots\dots\dots(2-1)$$

$$\text{VHN} = \frac{1,854.L}{D^2} \dots\dots\dots(2-2)$$

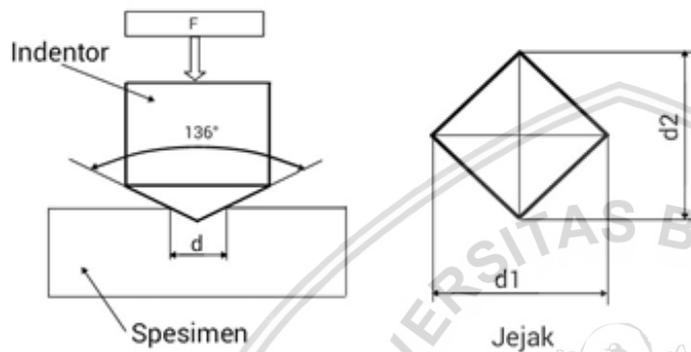
dengan :

VHN = Vickers Hardness Number

L = Beban (kg)

D = Panjang diagonal bekas indentasi (mm)

Sumber : Material Testing Book (2015)



Gambar 2.8 Mekanisme Pengujian Vickers

Sumber : H. Avner (1974)

2.6.2 Pengujian Porositas

Untuk mencari persentase porositas dari keramik digunakan rumusan sesuai ASTM B276 yaitu :

$$\% \varphi = \left(\frac{W_{\text{air}} - W_{\text{udara}}}{W_{\text{udara}}} \right) \times 100\% \dots\dots\dots(2-3)$$

dengan :

$\% \varphi$ = % porositas (%)

W_{udara} = berat spesimen di udara sebelum dicelup (gram)

W_{air} = berat spesimen setelah dicelup air (gram)

2.6.3 Pengujian Invitro

Pengujian in vitro adalah pengujian yang dilakukan diluar organisme hidup, tetapi prosedur perlakuannya dalam kondisi lingkungan terkontrol. Pengujian in vitro yang dimaksud pada penelitian ini adalah pengujian aplikasi gigi pada lingkungan terkontrol dalam kondisi rongga mulut.

Dalam rongga mulut, terdapat kelenjar saliva. Kelenjar saliva adalah cairan kental yang diproduksi oleh kelenjar ludah. Volume saliva yang diekskresikan selama 24 jam diperkirakan 1-1,5 liter. Derajat keasaman (pH) saliva berkisar antara 6,2-7,6 dengan rata-rata 6,7. Sedangkan untuk suhu didalam rongga mulut adalah sekitar 37 °C, Amerongen (1991).

A. Komposisi Saliva

Saliva terdiri dari 99,05% air dan 0,5% substansi yang larut. Beberapa komposisi saliva adalah :

1. Protein

Beberapa jenis protein yang terdapat didalam saliva adalah :

a) Mucoïd

Merupakan sekelompok protein yang sering disebut dengan mucin dan memberikan konsistensi mukus pada saliva. Mucin juga berperan sebagai glikoprotein karena terdiri dari rangkaian protein yang panjang dengan ikatan rantai karbohidrat yang lebih pendek.

b) Enzim

Enzim yang ada pada saliva dihasilkan oleh kelenjar saliva dan beberapa diantaranya merupakan produk dari bakteri dan leukosit yang ada pada rongga mulut. Beberapa enzim yang terdapat dalam saliva adalah amylase dan lysozyme yang berperan dalam mengontrol pertumbuhan bakteri di rongga mulut.

c) Protein Serum

Saliva dibentuk dari serum maka sejumlah serum protein yang kecil ditemukan didalam saliva. *Albumin* dan *globulin* termasuk kedalam serum saliva.

d) Waste Products

Pada saliva juga ditemukan sebagian kecil dari waste product pada serum, urea dan uric acid.

2. Ion-ion Inorganik

Ion-ion utama yang ditemukan dalam saliva adalah kalsium dan fosfat yang berperan penting dalam pembentukan kalkulus. Ion-ion yang memiliki jumlah yang lebih kecil terdiri dari sodium, potasium, klorida, sulfat dan ion-ion lainnya.

3. Gas

Pada saat pertama kali saliva dibentuk, saliva mengandung gas oksigen yang larut, nitrogen dan karbon dioksida dengan jumlah yang sama dengan serum. Ini

memperlihatkan bahwa konsentrasi karbon dioksida cukup tinggi dan hanya dapat dipertahankan pada larutan yang memiliki tekanan didalam kelenjar duktus, tetapi pada saat saliva mencapai rongga mulut banyak karbon dioksida yang lepas.

4. Zat-Zat Aditif di Rongga Mulut

Merupakan berbagai substansi yang tidak ada didalam saliva pada saat saliva mengalir dari dalam duktus, akan tetapi menjadi bercampur dengan saliva didalam rongga mulut. Yang termasuk kedalam zat-zat aditif yaitu mikroorganisme, leukosit dan *dietary substance*.

Dengan demikian, pengujian *in vitro* yang dilakukan dalam penelitian ini adalah dengan kondisi lingkungan menggunakan air 99,5% air dari 1-1,5 liter dan 0,5% substansi yang larut disini adalah kalsium dan potasium, dengan derajat keasaman (pH) 6,7 serta suhu dipertahankan sekitar 37 °C atau suhu ruangan.

2.7 Pembuatan Gigi Palsu

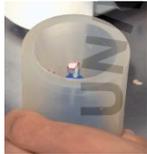
Dalam bidang kedokteran gigi, tujuan utama dari perawatan pasien adalah untuk mempertahankan atau meningkatkan mutu kehidupan pasien. Tujuan ini dapat dicapai dengan cara mencegah penyakit semakin berkembang, menghilangkan rasa sakit, memperbaiki efisiensi pengunyahan, meningkatkan pengucapan, dan juga memperbaiki estetika wajah. Untuk menangani kasus kehilangan gigi pasien, di bidang kedokteran gigi ditemukan restorasi/ gigi palsu yang digunakan untuk menggantikan gigi yang hilang dengan gigi tiruan. Semakin berkembangnya jaman, kualitas dari bahan yang digunakan untuk membuat gigi tiruan semakin menyita perhatian dari dokter gigi dan pekerja laboratorium gigi agar gigi tiruan yang digunakan dapat bertahan lama bahkan sampai puluhan tahun. Salah satu bentuk kemajuan teknologi dalam bidang kedokteran gigi adalah ditemukannya bahan restorasi yang dapat menghasilkan restorasi yang mirip dengan warna gigi asli dan dapat digunakan dalam waktu bertahun-tahun. Bahan tersebut adalah dental porcelain atau yang biasa disebut dental ceramic. Salah satu bentuk kemajuan teknologi dan ilmu pengetahuan dalam bidang kedokteran gigi adalah penggunaan zirconia / non logam dalam bahan pembuatan restorasi. Zirconia berasal dari unsur zirconium (Zr) yang memiliki nomor atom 40 dan berat atom 91,22. Sebagai bahan pembuatan restorasi dalam bidang kedokteran gigi, zirconia memiliki sifat fisik, mekanis, kimia dan biologis yang sangat baik. Zirconia memiliki titik leleh yang tinggi dan konduktivitas thermal yang rendah.

Kriteria gigi tiruan yang baik adalah :

1. Faktor kenyamanan yang hampir menyerupai gigi asli
2. Tahan lama di rongga mulut
3. Stabilitas yang baik dalam proses pengunyahan
4. Mampu menjaga kesehatan tulang rahang
5. Warna gigi putih

Perbandingan proses pembuatan gigi palsu di Abadi Dental Laboratory dengan pada penelitian ini tersaji pada tabel 2.7.

Tabel 2.7
Perbandingan Pembuatan Gigi Palsu

Proses	Gambar	Abadi Dental Laboratory	Gambar	Penelitian
Pembuatan Malam		Pembuatan malam bisa banyak		Pembuatan malam terbatas
Pembuatan Mold		Satu mold bisa untuk 4 gigi		Satu mold terbatas hanya 1 gigi karena riser lebih besar
Bahan		Akrilik atau Porcelain		Serbuk keramik aditif zirkon
Pressure		<i>Hot Press</i>		Mekanik menggunakan <i>Hydraulic Press</i>
Pembakaran		Sekaligus bersamaan dengan <i>hot press</i>		Pada tungku pembakaran setelah dilakukan <i>press</i>
Hasil		Rapi dan halus		Tidak rapi dan kasar

2.8 Hipotesis

Berdasarkan latar belakang dan tinjauan pustaka, maka hipotesis dari penulis adalah penambahan zirkon berbanding lurus dengan nilai kekerasan yang dihasilkan. Semakin tinggi kadar zirkon maka kekerasan yang dihasilkan semakin tinggi juga, karena dipengaruhi oleh sifat dari zirkon yang memiliki nilai kekerasan 7,5 Mohs.

Sedangkan untuk hubungan penambahan zirkon dengan porositas adalah berbanding terbalik. Karena kekerasan berbanding terbalik dengan porositas. Semakin tinggi kekerasan material, semakin sedikit terjadinya porositas pada material tersebut.



BAB III METODE PENELITIAN

3.1 Metode Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh variasi persentase zirkon ($ZrSiO_4$) pada keramik modern terhadap kekerasan dan porositas. Dalam penelitian ini metode penelitian yang digunakan adalah penelitian eksperimental nyata (*true experimental research*). Selain itu juga dilakukan studi literatur yang bersumber dari dosen, buku, jurnal, maupun internet guna memperoleh informasi tambahan mengenai penelitian yang dilakukan.

3.2 Variabel Penelitian

Variabel yang digunakan dalam penelitian ini adalah :

a. Variabel kontrol

Variabel kontrol adalah variabel yang nilainya dibuat konstan. Dalam hal ini adalah :

1. Temperatur pembakaran : 1100-1300 °C.
2. Tekanan alat (P_{alat}) : 200 kg/cm².

$$P_{benda} = \frac{F_{alat}}{A_{benda}} = \frac{P_{alat} \cdot A_{alat}}{A_{benda}}$$

$$= \frac{200 \frac{kg}{cm^2} \cdot 13,854 \text{ cm}^2}{12,56 \text{ cm}^2} = 220,6 \text{ kg/cm}^2$$

b. Variabel bebas

Variabel bebas adalah variabel yang besarnya ditentukan sebelum penelitian. Variabel bebas yang digunakan dalam penelitian ini adalah : Variasi fraksi massa dari bahan keramik :

1. Kaolin 65%, Feldspar 15%, Silikat 10%, Zirkon 10%
2. Kaolin 60%, Feldspar 15%, Silikat 10%, Zirkon 15%
3. Kaolin 55%, Feldspar 15%, Silikat 10%, Zirkon 20%
4. Kaolin 50%, Feldspar 15%, Silikat 10%, Zirkon 25%

c. Variabel terikat

Variabel terikat adalah variabel yang besarnya tergantung dari variabel bebas.

Dalam hal ini variabel terikatnya adalah kekerasan dan porositas dari keramik.

3.3 Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian mengenai pengaruh variasi persentase zirkon ($ZrSiO_4$) pada keramik modern terhadap kekerasan dan porositas ini akan dilaksanakan pada tanggal 15 April - 2 Juni 2018. Pembuatan spesimen dilakukan di Laboratorium $\alpha\beta\gamma$ Landungsari, Malang. Pengujian kekerasan dilakukan di Laboratorium Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Malang dan pengujian porositas dilakukan di Laboratorium $\alpha\beta\gamma$ Landungsari, Malang.

3.4 Peralatan dan Bahan yang Digunakan

3.4.1 Peralatan yang Digunakan

Peralatan yang digunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

a. Timbangan Elektrik

Spesifikasi :

Fungsi	= Untuk menimbang bahan yang akan digunakan.
Merek	= AND EK-300i made in Japan.
Kapasitas maksimal beban	= 300 gram.
Ketelitian	= 0,01 gram.
Arus	= 100 mA.
Voltase	= 7-10 V.

b. Mesin Pengguncang Rotap

Spesifikasi :

Fungsi	= Untuk menyaring pasir dan mengukur besar mesh.
Jenis	= Rotap
Tipe	= VS1
Merek	= Retsch
Buatan	= Jerman Barat
Voltase	= 220 V
Daya	= 430 Watt
Frekuensi	= 50 Hz

c. Tungku Pembakaran

Spesifikasi :

Fungsi = Untuk pembakaran bahan keramik.

Maksimal suhu = 2000 °C.

Bahan bakar = Gas.

d. *Pressure Gauge*

Spesifikasi :

Fungsi = Untuk mengukur tekanan.

Merek = Tekiro

Ukuran = 0 – 600 kg/cm²

0 – 8000 psi

e. *Hydraulic Press*

Spesifikasi :

Fungsi = Untuk menekan campuran bahan keramik.

f. Cetakan

Alat ini digunakan untuk membuat spesimen uji dan *prothesa* (gigi tiruan)g. *Thermometer*

Spesifikasi :

Fungsi = Mengukur suhu pembakaran

Ketelitian = 9999°C

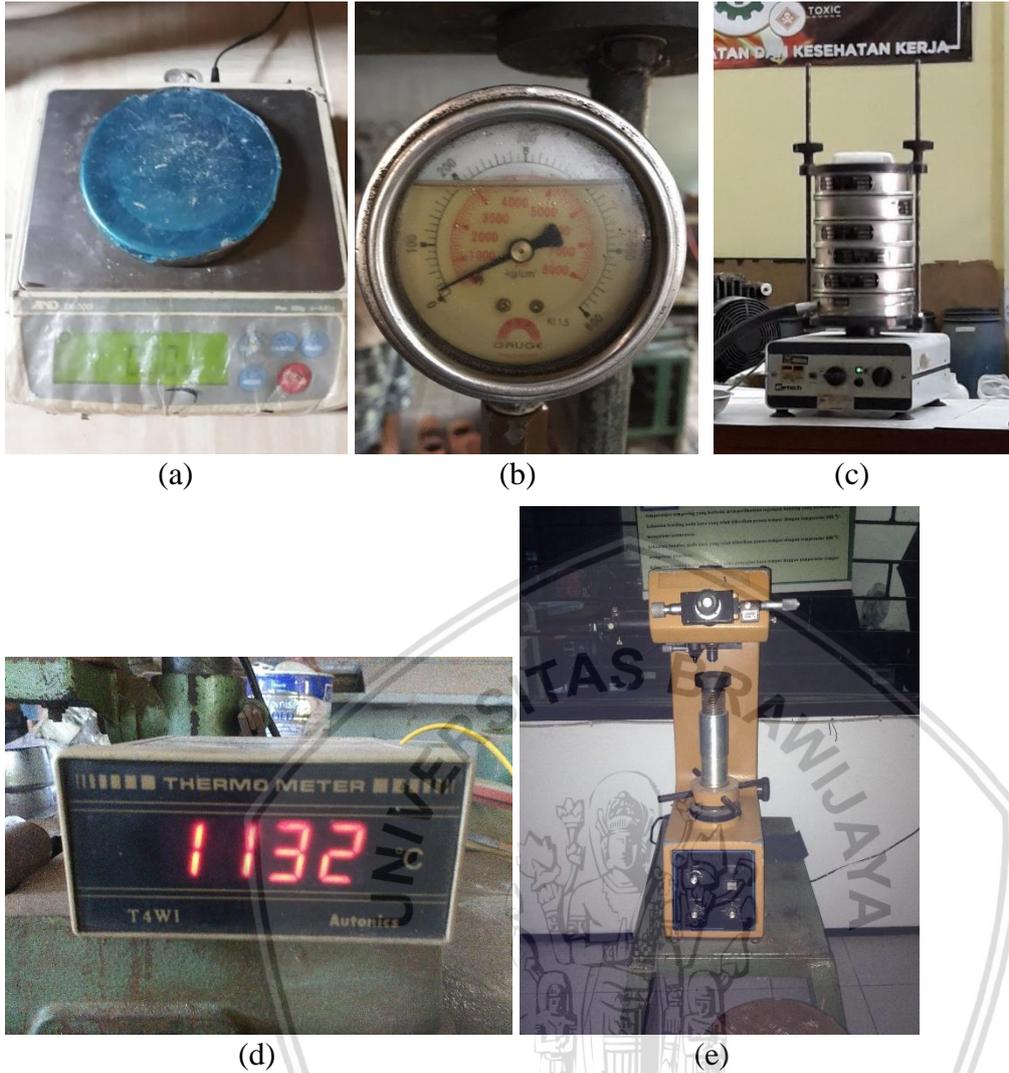
h. *Vickers Hardness Tester*

Spesifikasi :

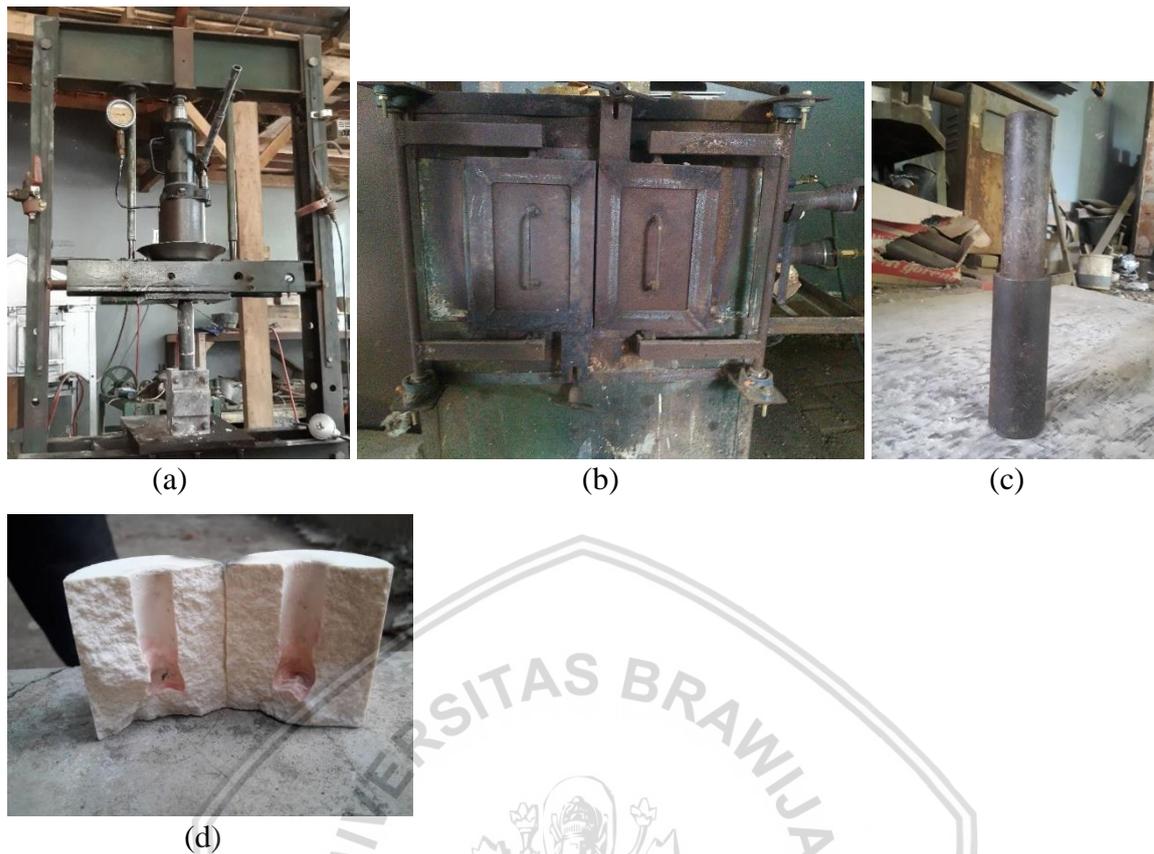
Fungsi = Untuk menguji kekerasan dari spesimen keramik.

Type = VKH-2E.

Cap. = 50 kg.



Gambar 3.1 Alat ukur : (a) Timbangan elektrik, (b) *Pressure Gauge*, (c) Mesin pengguncang rotap, (d) *Thermometer*, (e) *Vickers Hardness Tester*



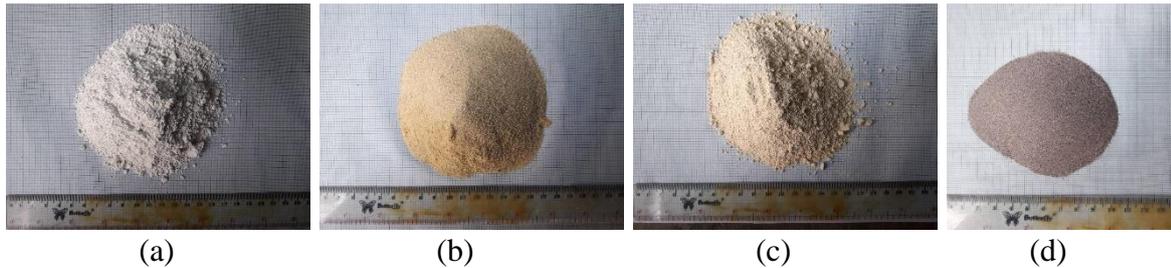
Gambar 3.2 Peralatan proses : (a) *Hydraulic Press*, (b) Tungku Pembakaran, (c) Cetakan Spesimen, (d) Cetakan Gigi

3.4.2 Bahan yang Digunakan

Bahan yang digunakan dalam pembuatan spesimen keramik modern yaitu : kaolin, *feldspar*, silikat, dan zirkon dapat dilihat pada gambar 3.3 dengan densitas dari bahan dapat dilihat pada tabel 3.1.

Tabel 3.1
Bahan Baku

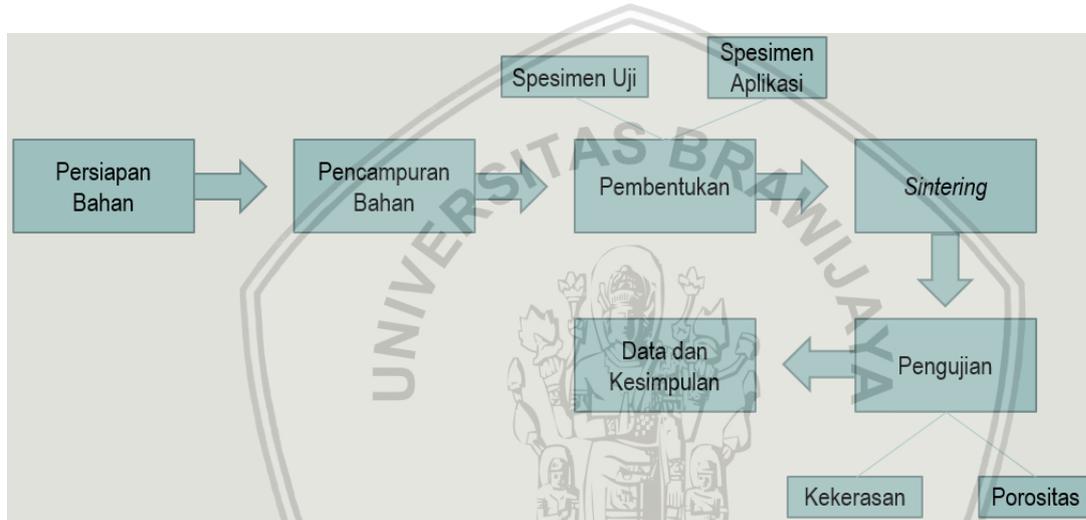
No.	Nama Bahan	Densitas (g/cm ³)	Spesimen (%)			
			I	II	III	IV
1.	Kaolin	2,41	65	60	55	50
2.	<i>Feldspar</i>	2,52	15	15	15	15
3.	Silika	2,65	10	10	10	10
4.	Zirkon	4,56	10	15	20	25



Gambar 3.3 Bahan Baku : (a) Kaolin, (b) Silika, (c) *Feldspar*, (d) Zirkon

3.5 Skema Penelitian

Berikut ini adalah skema penelitian yang ditunjukkan pada gambar 3.1.



Gambar 3.4 Skema Penelitian

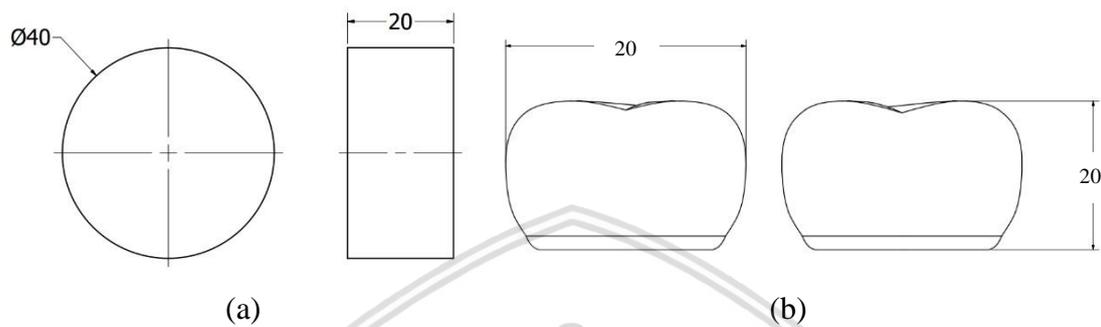
3.6 Proses Pembuatan Spesimen

- Mempersiapkan semua bahan dan alat yang akan digunakan.
- Pastikan bahwa serbuk benar-benar halus.
- Menimbang setiap bahan baku sesuai dengan komposisi menggunakan timbangan elektrik.
- Mencampur semua bahan baku dan dicampur dengan air sebanyak 20 mL kemudian dicampur sampai didapatkan campuran yang homogen sehingga dapat dicetak.
- Campuran yang siap dicetak kemudian dicetak menggunakan cetakan spesimen.
- Kemudian diberi tekanan sebesar 200 kg/cm^2 pada cetakan menggunakan alat penekan selama 10 menit.
- Spesimen dikeluarkan dari cetakan kemudian dikeringkan pada udara terbuka sampai air mekanik yang terkandung habis.

- h. Setelah kering, kemudian dibakar pada tungku pembakaran dengan range temperatur pembakaran 1100-1300 °C.

3.7 Dimensi Spesimen

Untuk dimensi spesimen dapat dilihat pada gambar 3.1 Berikut :



Gambar 3.5 Desain Spesimen : (a) Spesimen Uji, (b) Aplikasi Gigi Zirkon

3.8 Prosedur Penelitian

- Mempelajari literatur mengenai keramik.
- Mencari permasalahan tentang keramik yaitu mengenai kekerasan dan porositas keramik.
- Mepersiapkan alat dan bahan untuk penelitian.
- Membuat spesimen dengan variasi komposisi bahan yang telah ditetapkan.
- Melakukan pembakaran spesimen dengan temperatur pembakaran 1100-1300°C.
- Jika keramik yang dihasilkan terdapat cacat maka kembali ke langkah d, jika tidak maka lanjut ke langkah selanjutnya.
- Melakukan pengujian kekerasan dan porositas pada keramik yang telah jadi.
- Mengambil data hasil pengujian.
- Menganalisa data hasil pengujian kekerasan dan porositas.
- Membuat kesimpulan dan saran.

3.9 Rancangan Penelitian

Untuk mengetahui pengaruh variasi persentase zirkon ($ZrSiO_4$) pada keramik modern terhadap nilai kekerasan dan porositas yang dihasilkan, maka langkah pertama yang dilakukan terlebih dahulu adalah merencanakan model rancangan penelitiannya

(*experimental design*) agar hasil atau data yang diperoleh berguna untuk menyelesaikan masalah yang dihadapi.

Rancangan penelitian ini merupakan cara untuk menentukan keberhasilan suatu penelitian dan juga menentukan analisa yang tepat, sehingga didapatkan suatu data dan kesimpulan yang tepat.

Variasi bahan baku pada penelitian ini terdiri dari empat macam. Perkiraan hasil pengujian dan pengambilan data dari masing-masing pengujian ditabelkan pada tabel 3.2 dibawah ini :

Tabel 3.2
Variasi bahan baku terhadap kekerasan

Spesimen	Kadar Zirkon (%)	Kekerasan (VHN)
IA	10	X ₁
IIA	15	X ₂
IIIA	20	X ₃
IVA	25	X ₄

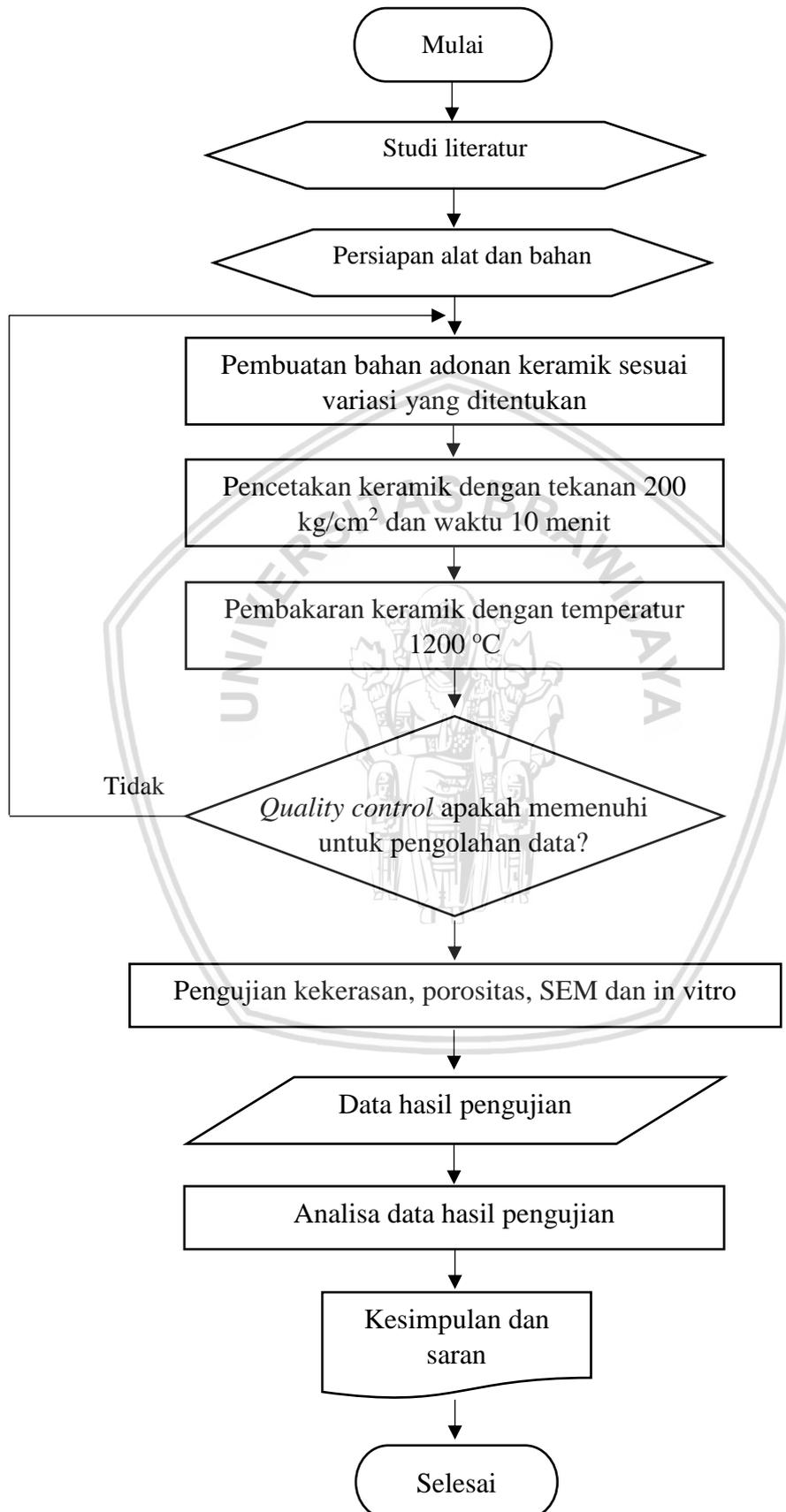
Tabel 3.3
Variasi bahan baku terhadap porositas

Spesimen	Kadar Zirkon (%)	Porositas (%)
IA	10	Y ₁
IIA	15	Y ₂
IIIA	20	Y ₃
IVA	25	Y ₄

3.10 Analisis Grafik

Untuk analisis grafik, peneliti menggunakan bantuan *software* Microsoft Excel. Analisis grafik dilakukan melalui pengamatan perubahan *trend* data pada grafik yang diperoleh dari *ploting* data.

3.11 Diagram Alir Penelitian





BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Data Pengujian

4.1.1 Data Pengujian Kekerasan

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan, diperoleh data porositas yang tercantum pada tabel 4.1.

Tabel 4.1
Data Kekerasan Vickers Spesimen

Spesimen	Kadar Zirkon (%)	Titik	d ₁ (mm)	d ₂ (mm)	d (mm)	d ² (mm ²)
IA	25	1	0,250	0,331	0,291	0,084
		2	0,427	0,488	0,458	0,209
		3	0,256	0,239	0,248	0,061
		4	0,637	0,662	0,650	0,422
		5	0,670	0,641	0,656	0,430
IIA	20	1	0,770	0,776	0,773	0,598
		2	0,466	0,512	0,489	0,239
		3	0,450	0,455	0,453	0,205
		4	0,576	0,639	0,608	0,369
		5	0,586	0,622	0,604	0,365
IIIA	15	1	0,544	0,437	0,491	0,241
		2	0,597	0,640	0,619	0,383
		3	0,562	0,531	0,547	0,299
		4	0,721	0,694	0,708	0,501
		5	0,473	0,471	0,472	0,223
IVA	10	1	0,597	0,569	0,583	0,340
		2	0,591	0,628	0,610	0,371
		3	0,449	0,566	0,508	0,258
		4	0,662	0,691	0,677	0,458
		5	0,567	0,582	0,575	0,330

Keterangan :

d_1 = diagonal 1 (mm)

d_2 = diagonal 2 (mm)

$d = (d_1+d_2)/2$ = diagonal rata-rata (mm)

d^2 = diagonal rata-rata kuadrat (mm^2)



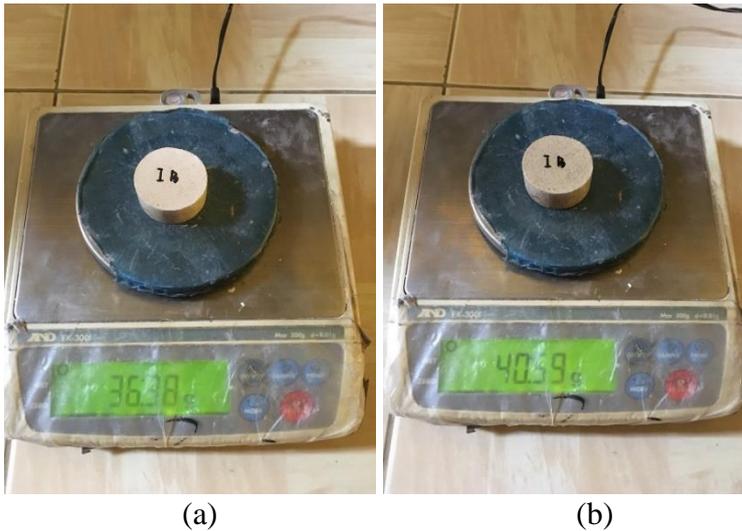
Gambar 4.1 Jejak hasil indentasi : (a) Hasil indentasi. (b) Jumlah titik indentasi

4.1.2 Data Pengujian Porositas

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan, diperoleh data porositas yang tercantum pada tabel 4.2.

Tabel 4.2
Data Pengukuran Berat Spesimen

Spesimen	Kadar Zirkon (%)	Wu (gram)	Wa (gram)
IB	10	36,38	40,59
IIB	15	39,63	45,00
IIIB	20	46,48	52,55
IVB	25	47,11	53,04



Gambar 4.2 Berat Spesimen : (a) Berat spesimen di udara, (b) Berat spesimen setelah di rendam dalam air

4.2 Perhitungan

4.2.1 Perhitungan Kekerasan

Pada penelitian ini, pengujian kekerasan yang digunakan adalah kekerasan vickers. Dengan beban yang digunakan sebesar 1 kg. Masing-masing spesimen dilakukan pengujian sebanyak 5 titik.

Dari data tabel 4.1 diperlukan untuk perhitungan kekerasan. Contoh perhitungan kekerasan adalah sebagai berikut :

- Perhitungan kekerasan vickers dengan beban 1 kg.

$$\begin{aligned} VHN &= \frac{1,854 \cdot L}{D^2} \\ &= \frac{1,854 \cdot 1}{0,084} \\ &= 21,969 \text{ VHN} \end{aligned}$$

Dari contoh perhitungan, maka untuk semua spesimen didapat hasil pengujian kekerasan seperti pada tabel 4.3.

Tabel 4.3
Data Hasil Pengujian Kekerasan

Spesimen	Kadar Zirkon (%)	Titik	d ₁ (mm)	d ₂ (mm)	d (mm)	d ² (mm ²)	VHN	VHN rata-rata
IA	25	1	0,255	0,331	0,291	0,084	21,969	13,96
		2	0,427	0,488	0,458	0,209	8,858	
		3	0,256	0,239	0,248	0,061	30,266	
		4	0,637	0,662	0,650	0,422	4,395	
		5	0,670	0,641	0,656	0,430	4,315	
IIA	20	1	0,770	0,776	0,773	0,598	3,103	6,00
		2	0,466	0,512	0,489	0,239	7,753	
		3	0,450	0,455	0,453	0,205	9,055	
		4	0,576	0,639	0,608	0,369	5,024	
		5	0,586	0,622	0,604	0,365	5,082	
IIIA	15	1	0,544	0,437	0,491	0,241	7,706	6,16
		2	0,597	0,640	0,619	0,383	4,847	
		3	0,562	0,531	0,547	0,299	6,208	
		4	0,721	0,694	0,708	0,501	3,704	
		5	0,473	0,471	0,472	0,223	8,322	
IVIA	10	1	0,597	0,569	0,583	0,340	5,455	5,46
		2	0,591	0,628	0,610	0,371	4,991	
		3	0,449	0,566	0,508	0,258	7,198	
		4	0,662	0,691	0,677	0,458	4,051	
		5	0,567	0,582	0,575	0,330	5,617	

4.2.2 Perhitungan Porositas

Dari data tabel 4.2 diperlukan untuk perhitungan porositas. Contoh perhitungan porositas adalah sebagai berikut.

- Perhitungan porositas

$$\begin{aligned}
 \% \varphi &= \left(\frac{W_{air} - W_{udara}}{W_{udara}} \right) \times 100\% \\
 &= \frac{(40,59 - 36,38)}{36,38} \times 100\% \\
 &= 11,57\%
 \end{aligned}$$

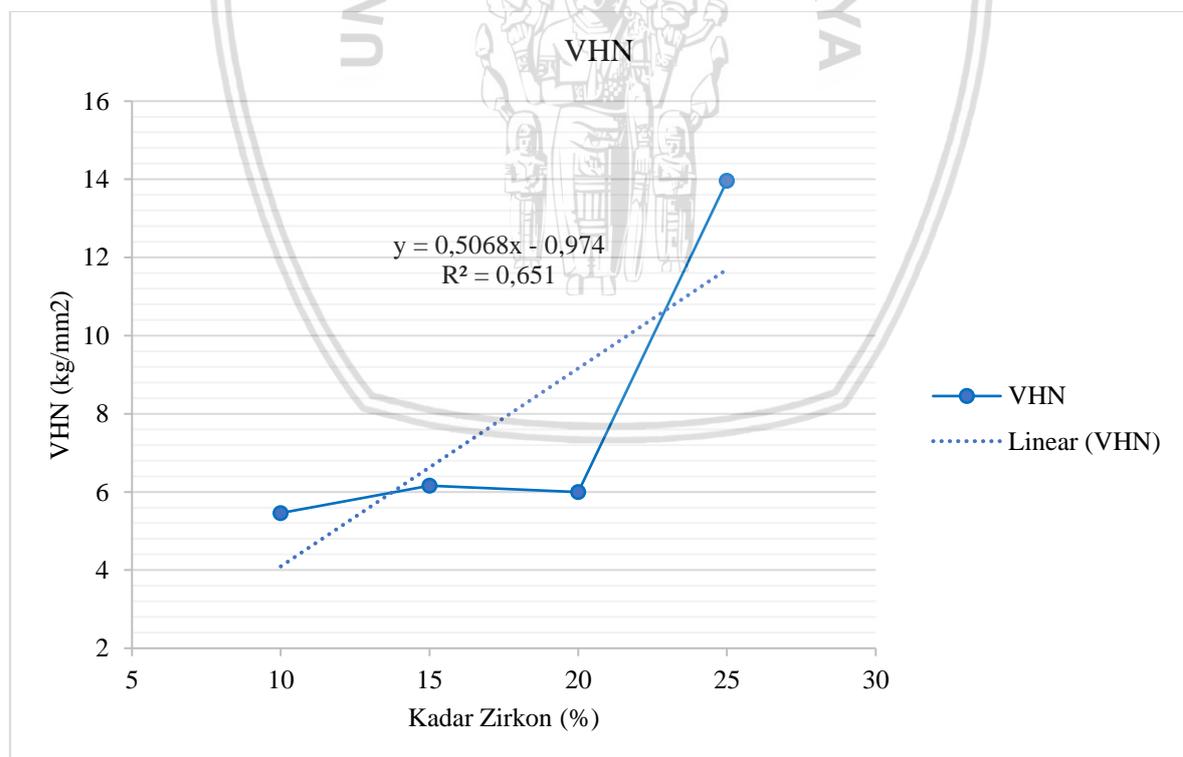
Dari contoh perhitungan, maka untuk semua spesimen didapat hasil pengujian kekerasan seperti pada tabel 4.4.

Tabel 4.4
Data Hasil Pengujian Porositas

Spesimen	Kadar Zirkon (%)	Wu (gram)	Wa (gram)	% ϕ
IB	10	36,38	40,59	11,57
IIB	15	39,63	45,00	13,55
IIIB	20	46,48	52,55	13,06
IVB	25	47,11	53,04	12,59

4.3 Pembahasan

4.3.1 Analisis hubungan antara persentase zirkon terhadap kekerasan



Gambar 4.3 Grafik Hubungan Antara Kekerasan terhadap Kadar Zirkon

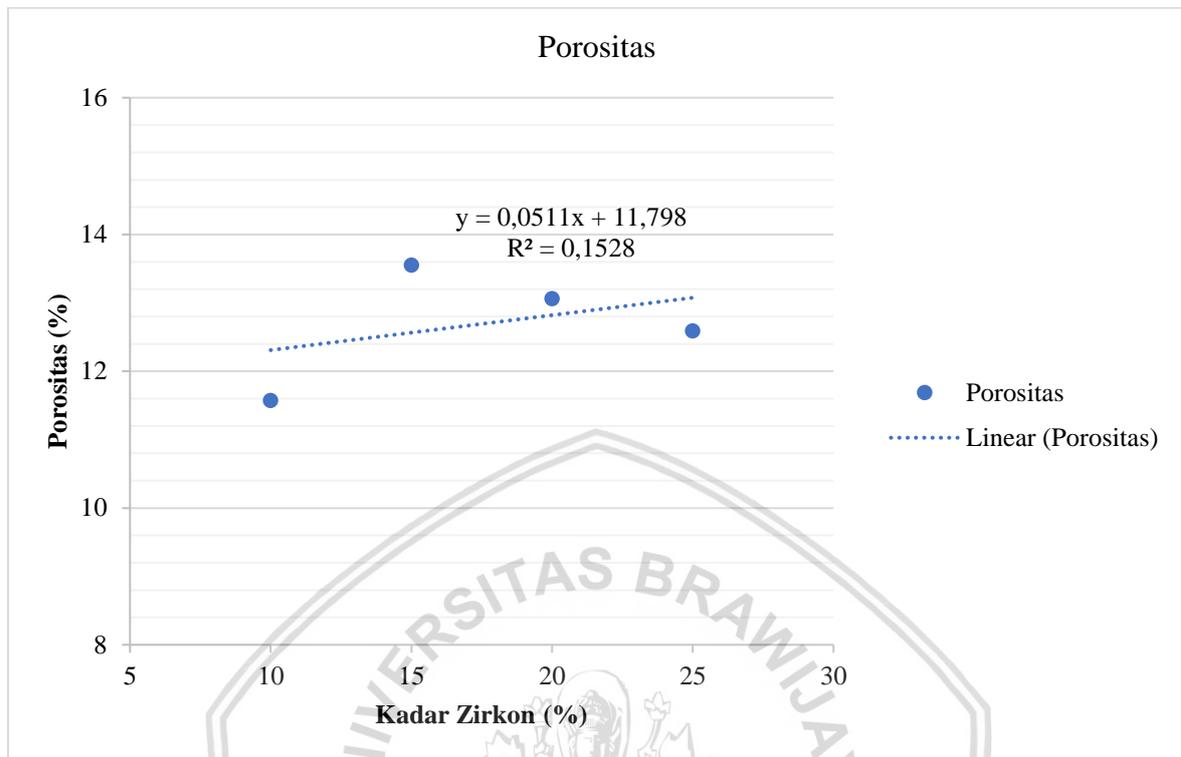
Pembuktian persamaan $y = 0,5068x - 0,974$ dan $R^2 = 0,651$ terdapat pada lampiran 3. Gambar 4.3 menunjukkan grafik hubungan antara kekerasan terhadap kadar zirkon. Dari

grafik menunjukkan bahwa kadar zirkon berbanding lurus dengan kekerasan. Dalam artian semakin tinggi kadar zirkon, kekerasan yang dihasilkan semakin tinggi juga, ditunjukkan dengan tren garis linear yang dihasilkan. Hal tersebut dapat terjadi karena zirkon memiliki sifat kekerasan yang tinggi, semakin bertambah kadar zirkon, maka kandungan zirkon yang terdapat pada spesimen tersebut semakin banyak sehingga menyebabkan kekerasan yang dihasilkan juga semakin tinggi.

Nilai kekerasan yang ditunjukkan gambar 4.3 masing-masing kadar zirkon 10, 15, 20, dan 25% adalah 5,46; 6,16; 6,00; dan 13,96 VHN. Penyimpangan terjadi pada spesimen IIA yang memiliki kadar zirkon yaitu 20%. Hal tersebut dapat terjadi dikarenakan zirkon belum stabil ketika dibakar pada range suhu 1000-1200°C. Sehingga partikel zirkon belum tercampur merata dengan partikel lain, dibuktikan dengan hasil nilai pengujian kekerasan yang dihasilkan pada 5 titik, kekerasan yang dihasilkan pada 5 titik tersebut menunjukkan hasil yang berbeda secara signifikan. Tetapi selisih perbedaan kekerasan spesimen IIA dan IIIA tidak sangat jauh, jadi hal tersebut dapat ditoleransi.

Berdasarkan gambar 4.3 tentang grafik hubungan antara kekerasan terhadap kadar zirkon apabila dikaitkan dengan teori kekerasan, yaitu semakin tinggi kadar zirkon maka kekerasan yang dihasilkan akan semakin tinggi juga, maka grafik tersebut sudah sesuai. Diperkuat dengan tiga spesimen dengan kadar zirkon masing-masing 10,15, dan 25% menunjukkan hasil kekerasan yang semakin tinggi dan juga hasil tren garis linear yang menunjukkan kenaikan. Meskipun spesimen dengan kadar zirkon 20% memiliki kekerasan yang rendah, tetapi bisa ditoleransi.

4.3.2 Analisis hubungan antara persentase zirkon terhadap porositas



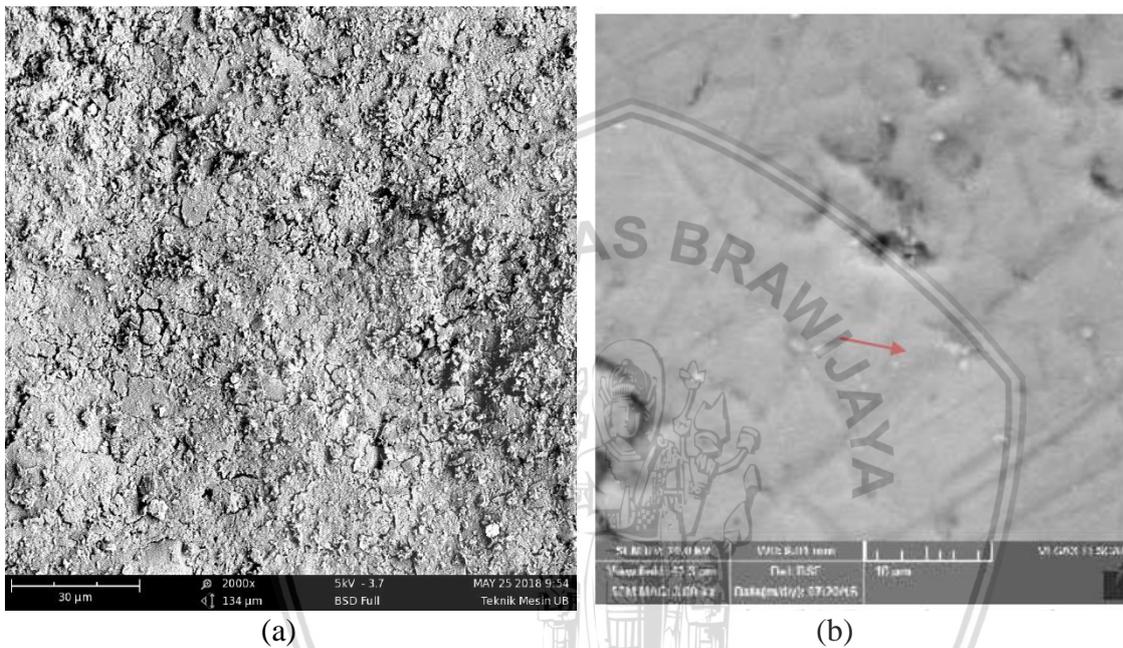
Gambar 4.4 Grafik Hubungan Antara Porositas terhadap Kadar Zirkon

Pembuktian persamaan $y = 0,0511x + 11,798$ dan $R^2 = 0,1528$ terdapat pada lampiran 3. Gambar 4.4 menunjukkan grafik hubungan antara porositas terhadap kadar zirkon. Dari grafik menunjukkan kecenderungan dimana semakin tinggi kadar zirkon, porositas yang dihasilkan semakin rendah. Hal tersebut dapat terjadi karena ukuran partikel zirkon lebih besar dari material penyusun lain dikarenakan massa jenis zirkon yang lebih besar sehingga semakin tinggi kadar zirkon rongga yang terbentuk semakin sedikit.

Nilai porositas yang ditunjukkan gambar 4.4 masing-masing kadar zirkon 10, 15, 20, dan 25% adalah 11,57; 13,55; 13,06; dan 12,59 %. Penyimpangan terjadi pada spesimen IB yang memiliki kadar zirkon lebih sedikit dari IV spesimen yang lain yaitu 10%. Hal tersebut dapat terjadi dikarenakan pada saat proses *press* (penekanan), terdapat adonan yang keluar dari cetakan, dari adonan yang keluar tersebut kemungkinan banyak terdapat kandungan zirkonnya, sehingga zirkon yang terkandung dalam spesimen sangatlah sedikit. Dengan sedikitnya zirkon tersebut menyebabkan partikel yang ada hanyalah partikel bahan keramik yang bentuk butirnya cenderung kecil dan homogen (dapat dilihat dari massa jenis). Sehingga porositas yang dihasilkan lebih sedikit daripada spesimen yang lain.

Berdasarkan gambar 4.4 apabila dikaitkan dengan teori porositas, yaitu semakin tinggi kekerasan maka porositas yang dihasilkan akan semakin sedikit. Sesuai dengan grafik di atas, maka teori tersebut sudah sesuai diperkuat dengan tiga spesimen dengan kadar zirkon masing-masing 15,20, dan 25% menunjukkan hasil porositas yang rendah. Meskipun spesimen dengan kadar zirkon 10% memiliki porositas paling rendah, tetapi bisa ditoleransi.

4.3.3 Analisis foto SEM



Gambar 4.5 Foto Mikrostruktur : (a) Permukaan Spesimen dengan Perbesaran 2000x. (b) Permukaan Gigi Asli dengan Perbesaran 2000x.

Pada gambar 4.5 (a) menunjukkan hasil foto SEM (Scanning Electron Microscope) dari spesimen dengan perbesaran 5000x. Terlihat bahwa permukaan spesimen (a) sangat kasar apabila dibandingkan dengan permukaan gigi asli (b) masih terdapat butiran yang belum menyatu dan terdapat gumpalan-gumpalan yang menghasilkan pori-pori dan menyebabkan terjadinya porositas. Terjadinya porositas sebesar 10-15% bisa dikarenakan bahwa butiran bahan zirkon, kaolin, silika, dan *feldspar* belum menyatu sempurna, sesuai dengan gambar 4.5 yang ditunjukkan oleh foto SEM (Scanning Electron Microscope). Untuk memperbaiki cacat tersebut perlu dikaji lebih lanjut pada penelitian selanjutnya.

4.4 Perbandingan Hasil Spesimen Keramik Berbentuk Gigi

Pada gambar 4.2 dari segi warna, spesimen keramik berbentuk gigi cenderung lebih putih dibandingkan dengan gigi asli maupun gigi tiruan. Dari segi permukaan gigi asli dan gigi tiruan lebih mengkilap dibandingkan dengan spesimen keramik berbentuk gigi. Dari segi bentuk keramik berbentuk gigi sudah menyerupai gigi tiruan.



Gambar 4.2 Perbandingan keramik berbentuk gigi





BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Penelitian tentang pengaruh variasi persentase zirkon ($ZrSiO_4$) pada keramik modern terhadap kekerasan dan porositas diperoleh kesimpulan bahwa dengan komposisi 65% Kaolin-15% *Feldspar*-10% Silika-10% $ZrSiO_4$; 60% Kaolin-15%*Feldspar*-10% Silika-15% $ZrSiO_4$; 55% Kaolin-15% *Feldspar*-10% Silika-20% $ZrSiO_4$; 50% Kaolin-15% *Feldspar*-10% Silika-25% $ZrSiO_4$ mempengaruhi besar kecilnya nilai kekerasan dan porositas.

Berdasarkan penelitian diperoleh kesimpulan yaitu :

1. Kekerasan tertinggi didapat pada kandungan zirkon 25% dengan nilai kekerasan 13,96 VHN. Jika dibandingkan dengan penelitian Wardhana (2014) sebesar 34 VHN, serta penelitian gigi tiruan sebesar 44,06 VHN maka lebih rendah.
2. Porositas terendah didapat pada kandungan zirkon 10% dengan nilai porositas sebesar 11,57%. Berdasarkan tren grafik, kadar zirkon berbanding lurus dengan kekerasan dan berbanding terbalik dengan porositas.

5.2 Saran

1. Perlu adanya penelitian lebih lanjut dengan pemurnian pasir zirkon ($ZrSiO_4$).
2. Seharusnya pasir zirkon ($ZrSiO_4$) dimurnikan terlebih dahulu untuk mendapatkan zirconia (ZrO_2) murni.
3. Seharusnya proses pembuatan spesimen dilakukan sesuai SOP yang berlaku.
4. Proses pencampuran bahan dan pressing menggunakan alat yang modern (tidak secara konvensional)

DAFTAR PUSTAKA

- Abdullah, M., Sonya, A.D., Nuryadin, B.W., Marully, A.R., Khairuddin. & Khairurrijal, 2009, Sintesis Keramik Berbasis Komposit Clay-Karbon dan Karakteristik Kekuatan Mekaniknya, *Jurnal Nanosains & Nanoteknologi*, Vol.2 No.2: 83-89.
- Amerogen, A, 1991, *Ludah dan Kelenjar Ludah Arti Bagi Kesehatan Gigi*, Yogyakarta: Gajah Mada University Press.
- Astuti, Ambar, 1997, *Pengetahuan Keramik*, Yogyakarta: Gajah Mada University Press.
- Callister, William D, 1940, *Material Science and Engineering*, USA : John Wiley & Sons, Inc.
- Davis, Harmer E, 1964, *The Testing and Inspection of Engineering Materials*, New York : McGraw-Hill.
- H. Avner, Sidney, 1974, *Introduction To Physical Metallurgy*, New York: McGraw-Hill Book Company.
- Laboratorium Metalurgi Fisik, 2015, *Material Testing Book*, Universitas Brawijaya Malang: Laboratorium Metalurgi Fisik.
- Laboratorium Metalurgi & Teknik Material, 2016, *Modul Laboratorium Metalurgi & Teknik Material*, Institut Teknologi Bandung: Laboratorium Metalurgi & Teknik Material.
- Laboratorium Pengecoran Logam, 2016, *Modul Praktikum Pengecoran Logam*, Universitas Brawijaya: Laboratorium Pengecoran Logam.
- Maghfirah, Awan, 2007, *Pembuatan Keramik Paduan Zirkonia (ZrO₂) dengan Alumina (Al₂O₃) dan Karakterisasinya*, Tesis, Dipublikasikan, Medan: Universitas Sumatera Utara.
- Priyono, Slamet. &Febrianto, E.Y, 2012, *Pemurnian Serbuk Zirkonia dari Zirkon*, *Jurnal Ilmu Pengetahuan dan Teknologi*, Volume 30 (1) : 1-6.
- Siregar, Juliandi, 2017, *Menghitung Nilai Kekerasan dan Kekuatan Patah Keramik Cordierite Secara Simulasi Mathematica 5.1*, *Jurnal Penelitian Pendidikan MIPA*, Vol.2 No.1 : 99-103.
- Surdia, Tata. & Saito, Shinroku, (1999), *Pengetahuan Bahan Teknik*, Jakarta: PT. Pradnya Paramita.
- Ristic, M.M, (1989), *Sintering New Development*, *Elsevier Scientific Publishing Company*, Vol.4. Netherland.
- Tingley, D. Densley. & Serrenho, A.C, (2015), *Technical handbook on zirconium and zirconium compounds*, England: Zircon Industry Association.
- Vlack, Lawrence H.V, (1991), *Ilmu dan Teknologi Bahan*, Edisi V, Terjemahan Sriati Djapri, Jakarta: Erlangga.
- Wardhana, Bayu S, (2014), *Pengaruh Penambahan Fraksi Berat Zirkonia terhadap Sifat Fisik dan Mekanik Komposit Aluminium Diperkuat Zirkonia yang Diproduksi dengan Metalurgi Serbuk*, *Jurnal Rekayasa Mesin*, Vol.5 No.3 : 263-269.