

ISSN : 0854 - 5405



*Jurnal*  
**KERAMIK DAN GELAS INDONESIA**  
JOURNAL OF THE INDONESIAN CERAMICS AND GLASS

Vol. 26 No. 2 Desember 2017



KEMENTERIAN PERINDUSTRIAN  
BADAN PENELITIAN DAN PENGEMBANGAN INDUSTRI

# BALAI BESAR KERAMIK

JKGI	VOL. 26	No. 2	Hal. 52 - 113	Bandung Desember 2017	ISSN 0854 - 5405
------	---------	-------	---------------	--------------------------	---------------------

Terakreditasi No: 658/AU3/P2MI-LIPI/07/2015

*Jurnal*

# KERAMIK DAN GELAS INDONESIA

JOURNAL OF THE INDONESIAN CERAMICS AND GLASS

Vol. 26 No. 1 Juni 2017

Jurnal Keramik dan Gelas Indonesia adalah majalah ilmiah yang diterbitkan dua kali dalam setahun untuk menyebarkan hasil-hasil penelitian dan pengembangan serta ulasan ilmiah tentang keramik dan gelas kepada lembaga penelitian dan pengembangan, ilmuwan, dan peminat lainnya. Tulisan dalam Jurnal Keramik dan Gelas Indonesia dapat dikutip dengan menyebutkan sumbernya.

Penanggung Jawab  
Kepala Balai Besar Keramik  
Ir. Supomo, M.Sc

Editor in Chief  
Ir. Hernawan, MT

Tim Penilai Kelayakan/Mitra Bestari  
DR. Handoko Setyo Kuncoro, ST, MT, M.Eng, Ph.D  
Dr. Eneng Maryani, S.Si, MT  
Dra. Sri Cicih Kurniasih, M.Si  
Drs. Fanani Hamzah, MS  
Dra. Naniek Sulistarihani, MS  
DR. Ir. Aristianto Muslim M. Barus, MSCE  
Dr. Diana Rakhmawaty E, M.Si  
Prof. Dr. Ir. Tarzan Sembiring  
Prof. DR. Ir. Bambang Sunendar Purwasasmita, M.Eng  
DR. Aditya Ramelan  
Drs. Suhandha  
Ir. Subari

Alamat  
Balau Besar Keramik  
Jl. Ahmad Yani No. 392 Bandung 40272  
Telp: (022) 7206221, 7207115, 7206296  
Fax: (022) 7205322  
e-mail: keramik@bbk.go.id

Berdasarkan SK LIPI No. 742/E/2012 dan Nomor Akreditasi : 461/AU2/P2MI/LIPI/08/2012  
ditetapkan sebagai majalah berkala ilmiah terakreditasi

**DAFTAR ISI**

	<b>Halaman</b>
1. Studi Awal Pemanfaatan Limbah Lumpur Pengolahan Ilmenit Sebagai Bahan Magnet <i>Preliminary Study of Utilization of Ilmenite Processing Mud Waste as a Magnet Material</i> Eneng Maryani, Tiar Ramadhan, Herlina Damayanti	52-60
2. Perkembangan Film Tipis Zirkonia: Sifat, Sintesis dan Aplikasi <i>Progress in Zirconia Thin Films: Properties, Synthesis, and Application</i> Ratih Resti Astari dan Rifki Septawendar	61-79
3. Studi Sifat Elektronik Lapisan Nano Tunggal Sic 3c Dengan Metode Perhitungan Prinsip Pertama <i>Study of SiC 3C Single Nano Layer Electronic Properties with First Principle Calculation</i> Muhammad Syaifun Nizar dan Ayu Ratnasari	80-86
4. Sintesis Precipitated Calcium Carbonated Dengan Asam Stearat Sebagai Pengubah Permukaan <i>Synthesis of Precipitated Calcium Carbonated With Acid Stearat As A Surface Modifier</i> Citra Fitriani K, Dede Taufik, Kristanto Wahyudi, dan Hernawan	87-95
5. Pembuatan dan Karakterisasi Material <i>Cutting Tools</i> Alumina Aditif Titania <i>Fabrication and Characterization Cutting Tools Alumina Aditif Titania</i> Maulid Purnawan, Soewanto Rahardjo, dan M. Sobron Lubis	96-102
6. Kesesuaian Sni Dengan Standar Internasional Pada Produk Kloset Duduk Keramik <i>Compatibility of Indonesian National Standard (SNI) to Internastional Standards on WC</i> Nurhidayati, Ratih Resti Astari, Hendra Kustiawan	103-113

## KATA PENGANTAR

Jurnal Keramik dan Gelas Indonesia Vol.26 No.2 Desember 2017 ini menyajikan 6 (enam) makalah yang ditulis oleh peneliti Balai Besar Keramik dan instansi litbang lainnya. Makalah-makalah tersebut membahas pemanfaatan limbah ilmenite sebagai bahan magnet, kajian film tipis zirconia, simulasi dan perhitungan lebar pita energi lapisan nano tunggal SiC 3C, sintesis *precipitated calcium carbonated* dengan asam stearat sebagai pengubah permukaan, pembuatan material cutting tools alumina aditif titania dan kesesuaian sni dengan standar internasional pada produk kloset duduk keramik.

Pada makalah pertama barium ferri oksida yang dihasilkan termasuk jenis magnet keras karena memiliki nilai koersivitas ( $H_c$ ) = 0,638-0,711 kOe. Karakteristik magnet lainnya yaitu nilai induksi remanen ( $B_r$ ) = 0,16-0,22 kG, energi maksimal ( $B_h$ ) = 0,001-0,01 MGOe dan densitas = 3,43-3,50 g/cm<sup>3</sup>.

Pada makalah kedua mengkaji lapisan film tipis zirconia yang memiliki prospek sangat potensial untuk keramik, seperti konduktor ion oksigen dan sensor oksigen, sebagai lapisan pembatas termal, untuk lapisan penyangga dalam perangkat superkonduktor, laser, bidang katalis, sebagai bahan dielektrik, dan untuk penggunaan di bidang biomedis seperti untuk implan dalam tubuh manusia

Pada makalah ketiga dengan menggunakan prinsip pertama, sifat listrik suatu bahan pada ukuran skala nano dapat diprediksi dengan simulasi komputasi, sifat elektronik lapisan tunggal nano SiC 3C dihitung *density of state* dan struktur pita energi. Hasil komputasi SiC 3C lapisan nano tunggal dengan ukuran 1,3 x 1,3 nm ukuran sel kristal 3x3x1 didapatkan celah pita energi sebesar -1.7 eV mirip dengan semikonduktor tipe p dengan pita konduksi minimum berada 8 eV diatas pita valensi.

Pada makalah keempat menunjukkan persen CaCO<sub>3</sub> meningkat seiring dengan penambahan asam stearat dengan persen tertinggi 99,387 %. dalam bubuk menentukan ukuran butir kapur yang dapat dicapai. Selain itu derajat putih (*whiteness*) dan derajat kecerahan (*brightness*) meningkat secara signifikan seiring dengan penambahan asam stearat, nilai yang tertinggi adalah *whiteness* 84,61 dan *brightness* 90,93 dengan konsentrasi asam stearat 2,5%.

Pada makalah kelima menunjukkan hasil pembakaran pada suhu 1700°C dengan metode substitusi karbon yang bersumber dari sagar silikon karbida yang bertujuan mengubah TiO<sub>2</sub> menjadi TiC, bahan dengan komposisi 97% Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, 3% TiO<sub>2</sub> mempunyai sifat yang lebih baik untuk dijadikan sebagai bahan *cutting tools* dengan kekerasan (*vickers hardness*) 25,21GPa.

Pada makalah keenam hasil analisis gap dengan JIS dan EN, SNI kloset duduk perlu perlu menambahkan pasal klasifikasi dan mengkaji pengujian serta syarat lulus uji khususnya uji pembilasan (Bowl Surface Flush Test). Sesuai perkembangan teknologi, SNI Kloset Duduk juga diharapkan dapat mengakomodir isu penghematan air (*water saving efficiency*).

Hasil penelitian dan kajian di atas diharapkan dapat menyumbangkan kemajuan teknologi keramik di Indonesia, sehingga tidak terlalu tertinggal dengan kemajuan teknologi keramik di negara lain.

Redaksi



## PERKEMBANGAN FILM TIPIS ZIRKONIA: SIFAT, SINTESIS DAN APLIKASI

*Progress in Zirconia Thin Films: Properties, Synthesis, and Application*

Ratih Resti Astari dan Rifki Septawendar

Balai Besar Keramik, Jl. Jendral Ahmad Yani No.392 Bandung 40272

Naskah masuk: 20 November 2017, Revisi: 14 Desember 2017, Diterima: 28 Desember 2017

### ABSTRAK

Lapisan film tipis zirkonia merupakan bahan yang memiliki sifat dan karakteristik mekanis dan fisis yang sangat baik, serta sifat listrik dan kimia yang baik seperti kekerasan yang tinggi, konduktivitas ionik yang tinggi, indeks bias dan nilai band-gap yang tinggi, sifat absorpsi yang rendah dan sifat adhesi yang baik terhadap substrat, stabilitas termal yang tinggi, ketahanan korosi yang baik, serta bioaktiv dan biokompatibilitas. Oleh karena itu, lapisan film tipis zirkonia memiliki prospek penggunaan yang sangat potensial untuk keramik, seperti konduktor ion oksigen dan sensor oksigen, sebagai lapisan pembatas termal, untuk lapisan penyangga dalam perangkat superkonduktor, laser, bidang katalis, sebagai bahan dielektrik, dan untuk penggunaan di bidang biomedis seperti untuk implan dalam tubuh manusia. Makalah ini mengulas sifat-sifat penting lapisan film tipis zirkonia termasuk di dalamnya sintesis dan penggunaannya.

**Kata Kunci:** zirkonia, lapisan film tipis, sifat fisis dan mekanis, sifat listrik, sifat optik, dan sifat kimia

### ABSTRACT

Zirconia thin films exhibit excellent mechanical and physical, electrical, chemical properties such as high hardness, high ionic conductivity, a high refractive index and band gap values, low absorption and good adhesion to substrates, thermal stability, corrosion resistance, and good bioactivity and biocompatibility. Thus, zirconia thin films have high potential applications in ceramics, as oxygen ion conductors and sensors, as thermal barrier coatings, for buffer layers in superconducting devices, laser mirrors, in catalysis, as gate dielectric materials, and for biomedical field in deployment as implants for humans. This paper briefly reviews some properties of zirconia thin films including synthesis and their some application.

**Keywords:** zirconia, thin films, mechanical and physical properties, electrical properties, optical properties, chemical properties

## I. PENDAHULUAN

Material keramik seperti zirkonia merupakan salah satu material oksida yang banyak digunakan untuk aplikasi di industri. Zirkonia murni mempunyai sifat-sifat yang kurang baik [1], namun dengan penambahan oksida yang mempunyai valensi lebih rendah, sifat-sifat kurang baik tersebut dapat berubah sehingga menjadi material yang lebih potensial untuk berbagai macam aplikasi. Oleh karena itu, zirkonia terstabilisasi menjadi salah satu material yang menarik untuk dipelajari dalam ilmu material, karena memiliki sifat yang sangat baik meliputi konduktivitas ionik yang tinggi pada temperatur tinggi [2], kuat tekan yang tinggi (1000 MPa – 1800 MPa), ketahanan retak yang tinggi (8 MPa.m<sup>1/2</sup> – 13 MPa.m<sup>1/2</sup>), kekerasan Vickers yang tinggi sekitar 13 GPa - 24 GPa, stabilitas termal yang tinggi (titik didih 2680°C), inert dan biokompatibel, sehingga dapat diaplikasikan baik untuk tujuan struktural maupun fungsional [3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10]. Aplikasi zirkonia terstabilisasi misalnya untuk perangkat elektronik temperatur tinggi (*solid oxide fuel cells* (SOFC), sensor pH temperatur tinggi, dan lain-lain),

katalis [4, 6, 11], aplikasi biomedis, refraktori, pigmen dan sebagai abrasif/pengikis [3, 5, 12]. Aplikasi zirkonia sangat tergantung pada struktur kristalnya. Struktur kristal zirkonia ditentukan oleh jenis dan kandungan penstabilnya [2, 8, 13]. Yttria merupakan penstabil yang banyak dipelajari. Penambahan 2-3% mol yttria dapat menstabilkan polikristal tetragonal zirkonia (TZP) [12] yang mempunyai sifat mekanik tertinggi (~1 GPa) namun mempunyai ketahanan retak yang rendah (4–5 MPa.m<sup>1/2</sup>) [2, 11, 14]. Sifat fisik material yang unggul, biokompatibilitas dan faktor estetika yang sangat baik membuat TZP menjadi material yang populer di antara material keramik lainnya yang digunakan dalam aplikasi biomedis khususnya dalam bidang ortopedi dan gigi [15,16]. Zirkonia Terstabilisasi Sebagian/*Partially stabilized zirconia* (PSZ) dengan kandungan penstabil yang lebih tinggi daripada TZP menunjukkan karakteristik ketahanan retak yang tinggi (~10 MPa.m<sup>1/2</sup>) dan kekuatan mekanik yang lebih rendah (500 MPa). Penambahan yttria hingga 8 mol menghasilkan Zirkonia Terstabilisasi Penuh/*Fully Stabilized Zirconia* (FSZ) yang mempunyai

konduktivitas ionik yang tinggi di antara zirkonia polimorf lainnya [2, 9, 11, 14]. Oleh karena itu, FSZ digunakan sebagai elektrolit pada SOFC temperatur tinggi [2,15]. Selain yttria ( $Y_2O_3$ ), scandia ( $Sc_2O_3$ ), ceria ( $CeO_2$ ), dan calcia ( $CaO$ ) sering ditambahkan untuk menghasilkan FSZ [11, 17, 18, 19].

Saat ini, material lapisan tipis merupakan topik yang menarik dan sedang dikembangkan dalam teknologi dan pengetahuan material. Penelitian film tipis dan berstruktur nano untuk permukaan fungsional ditujukan untuk meningkatkan sifat permukaan material. Film tipis adalah bagian penting dan terintegral dari material maju, yang memberikan kemutakhiran dan meningkatkan fungsionalitas alat [10,21]. Di antara kelas material yang berbeda, oksida memiliki berbagai sifat fisis elektro fungsional (elektro fisik, optik, mekanik dll), yang memungkinkan penggunaan material ini sebagai dasar sintesis material film [20]. Selain itu, pemrosesan lapisan tipis dengan sifat yang dapat direproduksi merupakan masalah utama dalam masa pakai biomassa yang diimplan.

Lapisan tipis berbasis zirkonia merupakan material yang sangat

potensial. Karakteristik material tersebut sangat baik, di antaranya sifat mekanik yang tinggi (kekerasan yang tinggi) [22], konduktivitas ion yang tinggi [2, 11], sifat optik yang baik (misalnya indeks bias dan nilai band gap yang tinggi), penyerapan rendah dan adhesi yang baik terhadap substrat (kaca, keramik, silikon, polikor, dan safir), stabilitas termal, ketahanan korosi [20, 23], bioaktivitas dan biokompatibilitas [16]. Film zirkonium dioksida ( $ZrO_2$ ) dapat diaplikasikan dalam keramik; sebagai sensor dan konduktor ion oksigen [2, 11, 24, 25]; sebagai pelapis penahan panas, oksidasi dan korosi untuk pelindung baja tahan karat/*stainless steel* [23, 25, 26], pelapis untuk media film tipis cakram perekaman magnetik dan lapisan penyangga dalam pemrosesan perangkat superkonduktor film tipis suhu tinggi (HTP) [23, 25]; material optik dengan indeks bias tinggi ( $n = 2,1$ ), cermin laser dan dalam katalisis [24, 26, 27].  $ZrO_2$  memiliki konstanta dielektrik yang tinggi sehingga sangat potensial untuk pengganti  $SiO_2$  dalam aplikasi *metal oxide semiconducting field-effect transistors* (MOSFETs) sebagai gerbang dielektrik. Kekerasan zirkonia yang tinggi adalah sifat yang sangat

berguna untuk aplikasi tribologis [22]. Selain itu, film tipis zirkonia juga menunjukkan bioaktivitas yang menguntungkan dan sitokompatibilitas yang dapat digunakan untuk melapisi penggantian tulang metalik (implan) untuk meningkatkan biokompatibilitas dan oseointegrasi [16].

Berbagai metode telah dicoba untuk mempersiapkan film tipis  $ZrO_2$  seperti *sputtering* reaktif pada suhu kamar atau suhu tinggi [24, 25, 26], deposisi uap kimia/*chemical vapor deposition* (CVD) dari prekursor anorganik, dan CVD dari substansi prekursor logam-organik (MOCVD) [24, 25, 26], sol-gel [20, 26, 28, 29], *spin-coating*, deposisi lapisan atom/*atomic layer deposition* (ALD), *pulsed laser deposition* (PLD), teknik penyemprotan plasma, dan *beam-physical vapor deposition* (EB-PVD) [26]. Pada artikel ini, beberapa studi tentang sifat-sifat film tipis zirkonia termasuk sintesis dan beberapa aplikasinya akan dijelaskan secara singkat.

## II. SINTESIS DAN SIFAT MEKANIK

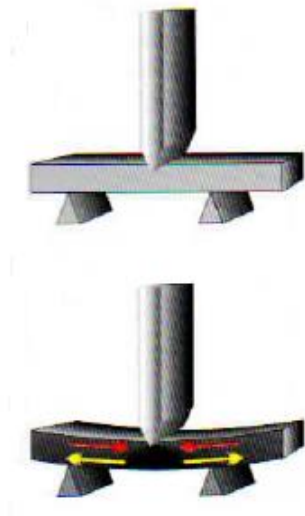
Lapisan tipis zirkonia dikembangkan karena sifat fisiknya yang menarik. Film zirkonia epitaksial dan non-epitaksial sudah digunakan

sebagai penahan panas, sensor dan *fuel cell*, sebagai elemen pada oksida gerbang untuk sistem elektronik. Namun demikian, tidak ada hubungan yang terbentuk antara karakteristik fisik dan mekanik film tipis zirkonia [30]. Indentasi nano adalah teknik yang baik untuk mengukur sifat mekanik film. Modulus Young (E) dan kekerasan (H) dari film tipis dapat diperoleh dengan mudah dengan menganalisis bentuk rinci dari kurva tanpa beban/*unloading curve* selama indentasi nano. Namun, laporan tentang kekuatan luluh lapisan tipis  $ZrO_2$  terbatas karena tidak dapat diturunkan secara langsung dari kurva tanpa beban pengukuran indentasi nano [31].

Bernard dkk. al [30] mempelajari sifat mekanik film tipis zirkonia yang diendapkan pada substrat Si (1 0 0) melalui MOCVD pada suhu 700 °C sampai 900 °C dan tekanan antara 100 Pa sampai 2000 Pa. Perilaku mekanik sistem substrat film diteliti menggunakan uji indentasi mikro Vickers dan indentasi nano Berkovitch. Film dibuat dari campuran fase tetragonal dan monoklinik. Fase tetragonal bertekstur tinggi diperoleh pada 900 °C dan tekanan 100 Pa. Modulus Young dan kekerasan fase



tetragonal zirkonia masing-masing, 220 GPa dan 15 GPa, lebih besar dari nilai yang diperoleh untuk fase monoklinik, masing-masing 160 GPa dan 7 GPa. Film zirkonia adalah perekat yang baik dengan ketahanan retak fase tetragonal zirkonia lebih besar daripada fase monoklinik.



Gambar 1. Representasi uji *3-point bending* [33]

Chan et.al [32] mempelajari efek pelapisan film tipis zirkonia yttria terstabilkan (YSZ) untuk meningkatkan kekuatan pada restorasi gigi keramik. Chan et.al [32] menggunakan porselen dengan dimensi 2 mm x 2 mm x 15 mm,  $n = 12$  sebagai substrat dan dipoles basah menggunakan abrasif SiC grit 1200. Deposisi dilakukan melalui sputtering magnetron dengan frekuensi radio (5 mT, 25 °C, rasio

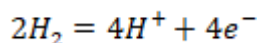
gas Ar/O<sub>2</sub> 30:1) dengan memvariasikan kekuatan bias substrat. Kuat lentur ditentukan oleh 3 titik bentur/*3-point bending*. Pengujian *3-point bending* diilustrasikan pada Gambar 1. Nilai ketahanan retak dihitung dari ukuran cacat dan kekuatan retak. Hasilnya menunjukkan peningkatan kekuatan retak hingga 57% dari spesimen yang tidak dimodifikasi. Chan et.al [32] menemukan bahwa film yang diendapkan dengan bias substrat yang lebih tinggi menunjukkan persentase fraksi volume monoklinik yang tinggi (19%) dibandingkan dengan film yang diendapkan non-bias (87%), dan menghasilkan peningkatan tekanan film dan mikrostruktur YSZ yang dimodifikasi. Sebagai tambahan, Chan et.al [32] mengamati bahwa analisis struktur mikro telah menunjukkan ukuran cacat kritis  $67 \pm 1 \mu\text{m}$  yang menyebabkan peningkatan ketahanan retak sebesar 55% pada spesimen yang tidak dimodifikasi.

### III. SINTESIS DAN SIFAT KELISTRIKAN

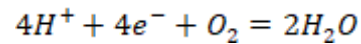
Zirkonia murni bukan merupakan elektrolit yang baik terutama karena konduktivitas ionnya yang rendah [1].

Zirkonia dengan struktur fluorida kubik memiliki konduktivitas ionik tertinggi. Penambahan oksida logam seperti CaO, MgO, Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Sc<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, dan Nd<sub>2</sub>O<sub>3</sub> dapat menstabilkan ZrO<sub>2</sub> menjadi struktur fluorida kubik [1, 34, 35, 36, 37]. Stabilisasi ZrO<sub>2</sub> dilakukan dengan substitusi langsung kation divalen atau trivalen dengan ukuran yang sesuai untuk kisi *host* kation Zr<sup>4+</sup>. Substitusi ini tidak hanya menstabilkan struktur fluorit kubik tetapi juga menciptakan konsentrasi oksigen yang tinggi karena adanya kompensasi muatan [1, 35]. Konsentrasi oksigen yang tinggi menghasilkan mobilitas ion oksigen yang tinggi. Konduksi ion oksigen terjadi pada struktur ZrO<sub>2</sub> terstabilkan dengan gerakan ion oksigen yang melewati *vacancy*/kekosongan [1, 38].

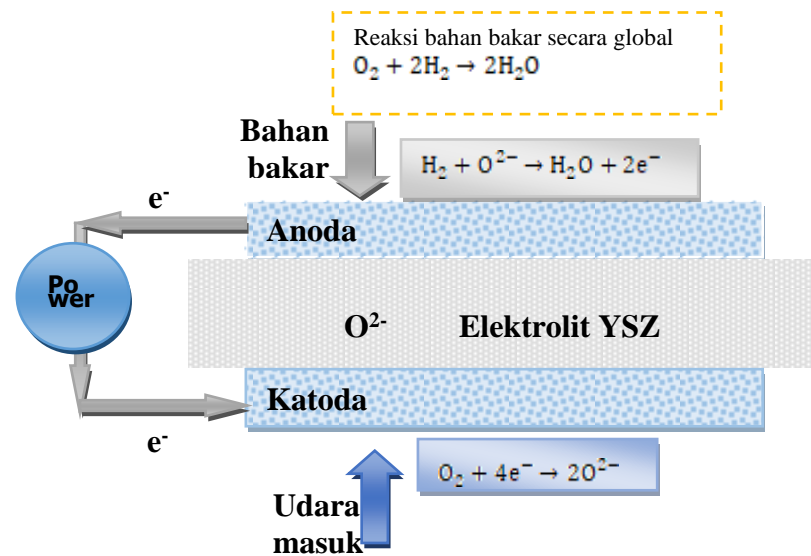
SOFC merupakan salah satu sel bahan bakar yang unik yang menggunakan oksida keramik sebagai elektrolit padat. Umumnya material yang digunakan adalah konduktor oksida ion, namun dapat juga konduktor proton (ion hidrogen positif) (Gambar 2). Pada SOFC dengan konduktor proton hidrogen teroksidasi di anoda [36]:



Proton diproses pada katoda, dengan reaksi sebagai berikut:



Perkembangan saat ini menemukan bahwa elektrolit yang terbuat dari film tipis YSZ nanokristalin telah menunjukkan konduktivitas ion yang lebih tinggi daripada material bulk mikrokristalin dan konduktivitas ion maksimum dicapai pada kandungan Y yang lebih rendah, jauh lebih rendah daripada keramik mikrokristalin bulk YSZ [39]. Peningkatan konduktivitas ion nanokristalin YSZ disebabkan oleh konsentrasi oksigen yang besar, yang dihasilkan dari substitusi penstabil kation. Pembentukan kekosongan disertai dengan pelepasan elektron yang jumlahnya sebanding dengan luas permukaan spesifik. Dengan demikian, mobilitas ion oksigen meningkat sebanding dengan meningkatnya luas permukaan spesifik yang tinggi [39,40]. Penelitian berikut adalah beberapa penelitian mengenai film tipis zirkonia untuk aplikasi SOFC termasuk sintesis dan sifatnya.



Gambar 2. Ilustrasi skema kerja SOFC<sup>[36]</sup>

Zhang et. Al. [41], mempelajari konduktivitas ionik film tipis zirkonia yttria terstabilkan untuk aplikasi SOFC melalui pengukuran voltase-arus pada suhu 800°C. Zhang et. Al. menggunakan teknik *dip-coating* untuk membuat film tipis zirkonia yttria terstabilkan dari suspensi larutan YSZ yang terdispersi sepenuhnya ke anoda NiO-YSZ. *Green film* dan anoda pendukung kemudian disinter bersama pada suhu 1400 °C untuk mendapatkan lapisan elektrolit padat. Pasta dari serbuk LSM ( $La_{0,8}Sr_{0,2}MnO_3$ ) dalam pelarut organik tercetak di cakram permukaan YSZ. Cakram kemudian dipanaskan sampai suhu 1200 °C. Sel tunggal Pt-NiO-YSZ / YSZ / LSM-Pt telah terbentuk. Pengukuran voltase dan arus untuk

sel diukur pada 800 °C dengan menggunakan hidrogen pada anoda dan oksigen di sisi katoda. Perhitungan energi aktivasi konduksi film tipis YSZ diperoleh pada suhu antara 600 °C dan 800 °C,  $E_a = 1,12$  eV, yang serupa dengan bahan bulk  $E_a = 1,14$  eV. Pada suhu 800 °C dan 750 °C, konduktivitas film tipis masing-masing mencapai 0,0098 S/cm - 0,004 S/cm. Menurut hasil penelitian, Zhang et. Al. [41] menekankan bahwa film tipis yang dideposisi dapat digunakan untuk aplikasi elektrolit pada SOFC suhu menengah.

Shim et. Al. [42] melaporkan deposisi lapisan atom dari zirkonia yang distabilkan 8 mol % yttria (8YSZ) untuk SOFC. Film 8YSZ disintesis dari

deposisi lapisan atom (ALD) menggunakan tetrakis-(dimethylamido) zirkonium dan tris (methylcyclopentadienyl) yttrium sebagai prekursor ALD dengan air terdistilasi sebagai oksidan. Untuk fabrikasi *fuel cell*, film ALD 8YSZ ditumbuhkan pada lapisan penyangga  $\text{Si}_3\text{N}_4$  pada substrat Si (100). Untuk mengevaluasi film ALD 8YSZ sebagai konduktor ion oksida, Shim et. Al. [42] membuat *fuel cell* oksida padat yang terdiri dari film ALD 8YSZ 60 nm yang dibuat dengan elektroda platinum berpori pada kedua sisi elektrolit. Struktur SOFC ini dirancang untuk beroperasi pada suhu rendah. Kinerja membran ALD YSZ sebagai elektrolit sel bahan bakar diukur dari hubungan arus - tegangan (IV) dari suhu 265 °C sampai 350 °C. Densitas daya maksimum adalah 28 mW/cm<sup>2</sup>, 66 mW/cm<sup>2</sup>, dan 270 mW/cm<sup>2</sup> masing-masing diamati pada 265 °C, 300 °C, dan 350 °C. Shim et. Al. [42] menjelaskan bahwa kinerja *fuel cell* elektrolit film tipis ALD yang tinggi dipengaruhi oleh ketahanan elektrolit yang rendah dan kinetika elektroda yang cepat.

Brahim dkk. al [43] mempelajari sifat elektrik lapisan tipis zirkonia terstabilkan yttria yang dihasilkan oleh deposisi lapisan atom untuk aplikasi

SOFC, dengan menggunakan spektrometer impedansi. Lapisan tipis elektrolit YSZ dibuat dengan deposisi lapisan atom (ALD) pada suhu 300 °C menggunakan  $\text{Cp}_2\text{ZrCl}_2$  dan  $\text{Y}(\text{thd})_3$  sebagai prekursor YSZ. Tiga sampel (1, 2 dan 3) terdiri dari lapisan tipis zirkonia didoping yttria yang diendapkan pada katoda  $\text{La}_{0,8}\text{Sr}_{0,2}\text{MnO}_3$  (LSM) pada suhu 300 °C dengan ketebalan masing-masing 280 nm, 540 nm, dan 990 nm. Sifat elektrik dari tiga elektrolit diselidiki pada suhu 400 °C dengan menggunakan spektrometer impedansi. Hasil pengukuran impedansi pada suhu 400 °C menunjukkan bahwa konduktivitas film tipis YSZ untuk sampel 1, 2, dan 3 masing-masing sekitar  $4,52 \times 10^{-4}$  S/m,  $1,81 \times 10^{-4}$  S/m, dan  $1,66 \times 10^{-4}$  S/m. Menurut Brahim dkk [43], konduktivitas YSZ cenderung menurun sesuai dengan ketebalan film yang diendapkan.

Oh et. al [44] melaporkan sifat-sifat listrik film tipis elektrolit YSZ dengan tebal 500 nm yang dibuat pada substrat anoda. Pemrosesan dilakukan secara konvensional dengan *spin coating* menggunakan larutan kimia yang mengandung nanopartikel 20 nm dan kemudian disinter pada suhu 1100 °C. Sel yang

mengandung elektrolit film YSZ dievaluasi berdasarkan karakteristik I-V-P pada suhu 450 °C - 600 °C menggunakan penganalisis *interface* elektrokimia (Solartron 1287, AMETEK, Inggris). Hasil pengukuran menunjukkan bahwa sel yang mengandung elektrolit film tipis YSZ menghasilkan tegangan rangkaian terbuka sebesar 1,07 V dan densitas daya maksimum sekitar 425 mW/cm<sup>2</sup> pada suhu 600 °C.

Solovyev et. al [45] mempelajari sifat listrik dari elektrolit film tipis padat YSZ melalui hubungan arus dan tegangan (IV) yang dihasilkan oleh *fuel cell*. Solovyev et. al [45] menggunakan metode pengendapan uap vakum fisik/*vacuum physical vapor deposition* (PVD) seperti *sputtering magnetron* dalam fabrikasi material dan struktur *solid oxide fuel cell* (SOFC). Hal ini menunjukkan bahwa lapisan elektrolit YSZ dan lapisan anoda Ni-YSZ dengan ketebalan, struktur dan komposisi tertentu dapat dibentuk secara efektif dengan metode PVD. Pengujian elektrolit penyangga *fuel cell* menunjukkan bahwa ketika anoda NiO-YSZ yang dibentuk oleh *sputtering magnetron*, densitas daya

mencapai 360 mW/cm<sup>2</sup> pada suhu 800 °C.

Setoguchi et. al [46] melaporkan karakterisasi sifat listrik film tipis zirkonia yang distabilkan calcia dibuat dari Zr dan Ca acetylacetonate kompleks pada substrat elektroda berpori La<sub>0,6</sub>Sr<sub>0,4</sub>MnO<sub>3</sub> dengan metode *spray pyrolysis*. Setoguchi et. al [46] kemudian memasang *fuel cell* yang terdiri dari elektrolit 33 µm, substrat silikat berpori La<sub>0,6</sub>Sr<sub>0,4</sub>MnO<sub>3</sub>, dan anoda cermet Ni-YSZ; dan sifat listrik *fuel cell* diinvestigasi dengan mendapatkan hubungan arus-tegangan (IV) yang dihasilkan oleh *fuel cell*. Tegangan rangkaian terbuka sel dengan film CSZ ketebalan 33 µm yang dibuat pada 100 °C adalah 0,96 V dan densitas daya maksimum adalah 0,5 W/cm<sup>2</sup> pada suhu 1000 °C.

#### IV. SINTESIS DAN SIFAT MAGNETIK

*Dilute magnetic semiconductors* (DMS) adalah material yang impuritas magnetiknya digunakan untuk menghasilkan keadaan ground magnetik. Sistem ini mendapat perhatian besar dalam beberapa tahun terakhir, sejak ditemukannya pembawa/*carrier* yang terinduksi ferromagnetisme pada (In, Mn) As

dan (Ga, Mn) As, dan diyakini menjadi dasar untuk membuat perangkat elektronik berbasis spin. Baru-baru ini, sebuah kelas baru DMS telah diselidiki, yaitu DMS berbasis oksida *k*-tinggi, seperti *dilute magnetic oxides* (DMO), setelah pembuktian eksperimental magnetisme suhu kamar pada logam transisi (TM) yang didoping zirkonia ( $ZrO_2$ ) [47].

Sangali dkk. Al. [47], mempelajari sifat magnetik film tipis zirkonia dengan menyelidiki pengaruh doping Fe pada  $ZrO_2$  ( $ZrO_2: Fe$ ) baik dari segi teoritis dan eksperimental. Dengan menggunakan prinsip simulasi pertama, kemudian dipelajari kerapatan magnetisasi dan interaksi magnetik antara atom Fe. Percobaan dilakukan dengan pembuatan film tipis ( $\sim 20$  nm)  $ZrO_2: Fe$  pada konsentrasi doping tinggi yang ditumbuhkan dengan deposisi lapisan atom. Kemudian ditemukan bukti eksperimental bahwa Fe telah terdistribusi secara merata pada  $ZrO_2$  melalui transmisi mikroskop elektron dan pemetaan energi terdispersi sinar-X, sementara difraksi sinar-X membuktikan adanya struktur kristal fluorit. Pengukuran gradien gaya bolak-balik magnetometer menunjukkan sinyal magnetik pada

suhu kamar, namun dengan momen magnetik yang rendah pada tiap atom.

## V. SINTESIS DAN SIFAT OPTIK

Film tipis zirkonia terstabilkan terutama film tipis YSZ telah banyak diteliti untuk aplikasi optik karena indeks biasnya yang tinggi, penyerapan yang rendah dan lemahnya *loss* di wilayah spektral yang luas di dekat UV hingga pertengahan IR, dan daya tahan kimia yang baik [48]. Faktor intrinsik (material) dan faktor ekstrinsik (fitur dan faktor luar) merupakan parameter yang mempengaruhi warna dan sifat tampak zirkonia (Gambar 3) [49]. Material  $ZrO_2$  dan  $Y_2O_3$  banyak digunakan sebagai material dalam fabrikasi pelapis optik dan khususnya berguna untuk daerah ultraviolet [50].

Zhang et. al [51] melaporkan sifat optik film tipis sol-gel yang berasal dari nanokristalin zirkonia terstabilisasi 8 mol % tanah jarang (RE-SZ). Tanah jarang nitrat dan zirkonium oxychloride digunakan sebagai prekursor. Elemen tanah jarang yang digunakan sebagai stabilisator adalah Sc, Y, Nd, Sm, Eu, Gd, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu. Zhang et. al [51] menggunakan teknik pelapisan spin sol-gel sederhana untuk membuat



lapisan tipis nanokristalin padat 8RESZ, bebas retak dan homogen dalam ketebalan  $\sim 200$  nm pada substrat kuarsa. Film mengkristal dalam struktur fluorida murni kubik pada suhu aniling rendah  $600$  °C. Spektrofotometer ultraviolet dan spektrofotometer sinar tampak digunakan untuk menentukan celah pita optik film yang dianiling pada suhu  $600^{\circ}\text{C} - 900^{\circ}\text{C}$  dan celah berada pada kisaran  $4,88$  eV -  $5,44$  eV. Berdasarkan hasil tersebut, Zhang et. al [51] menyimpulkan bahwa celah pita optik film tidak hanya bergantung pada ukuran ion dari tanah jarang yang didoping, tetapi juga sebagian besar mengalami penurunan dengan meningkatnya suhu aniling karena pengaruh ukuran.

Liu et. al [52] mempelajari efek aniling dan doping tanah jarang pada sifat struktural dan optik film tipis zirkonia sol-gel. Film tipis  $\text{ZrO}_2$  yang tidak didoping dan  $\text{ZrO}_2$  yang didoping unsur tanah jarang yang dibuat dengan metode sol-gel menggunakan zirkonium n-propoksida dan nitrat tanah jarang termasuk  $\text{Er}(\text{NO}_3)_3$ ,  $\text{Eu}(\text{NO}_3)_3$  dan  $\text{Tb}(\text{NO}_3)_3$  sebagai prekursor, dengan *rapid thermal annealing*/aniling pemanasan cepat (RTA) dan *conventional furnace*

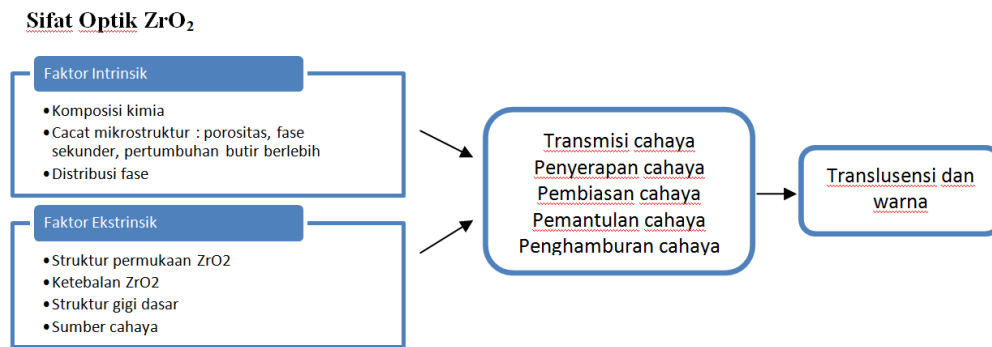
*annealing*/aniling tungku konvensional (CFA). Fase tetragonal suhu tinggi diamati pada suhu kamar. Suhu transformasi dari tetragonal menjadi monoklinik pada film yang dianiling cepat ( $\sim 750$  °C) lebih tinggi dari pada film yang dianiling dengan tungku konvensional ( $\sim 450^{\circ}\text{C}$ ), sedangkan pada film yang didoping elemen tanah jarang, tidak ada fase monoklinik yang teramati bahkan pada suhu  $850^{\circ}\text{C}$ . Indeks bias film  $\text{ZrO}_2$  diukur dengan *kopling prisma*. Indeks bias ditemukan bervariasi sebagai fungsi dari suhu aniling, teknik aniling dan elemen doping. Namun demikian, RTA dan doping unsur tanah jarang ditemukan dapat meningkatkan indeks bias film  $\text{ZrO}_2$ . Indeks bias terendah diperoleh film  $\text{ZrO}_2$  yang tidak didoping yaitu sekitar  $1,9677$  dan yang tertinggi ditemukan pada film tipis  $\text{ZrO}_2$  yang didoping Eu yaitu sekitar  $2,0343$ .

Heiroth dkk. [53] membandingkan sifat optik dan mekanik film tipis YSZ amorf dan kristalin ( $\sim (400 \text{ nm} - 700 \text{ nm})$ ) yang mengandung  $\text{Y}_2\text{O}_3$  3% atau 8% mol yang dibuat dengan *pulsed laser deposition*. Hubungan sifat mekanik dan optik pada mikrostruktur film dan komposisi kimia diselidiki dengan eksperimen nano-indentasi dan

spektrofotometri transmisi. Lapisan YSZ amorf padat jika dibandingkan dengan film kristalin menunjukkan hasil transmisivitas optik yang lebih tinggi, kekuatan celah pita yang lebih rendah sebesar 0,2 eV (5,5 eV dibandingkan dengan 5,7 eV), dan kekerasan yang lebih rendah sekitar 25% (11,9 GPa dibandingkan dengan 16,0 GPa) serta modulus elastisitas berkurang (231 GPa dibandingkan dengan 278 GPa), dengan mengecualikan tingkat dopan. Indeks bias tinggi,  $n_{600\text{nm}}$ , pada rentang 2,18 - 2,23, mendekati data referensi kristal tunggal yang diperoleh untuk PLD bertekanan rendah. Dalam batasan ini, indeks menurun dengan meningkatnya kandungan  $\text{Y}_2\text{O}_3$  dan secara konsisten sedikit lebih kecil, karena densitas *packing* atom yang lebih rendah. Urutan kisi mempengaruhi perilaku retak, karena lapisan amorf menunjukkan deformasi plastis yang dimediasi oleh *shear band*, sedangkan lapisan kristalin menyebabkan pembentukan lingkaran dan retak permukaan selama indentasi. Film kristalin 3YSZ menunjukkan peningkatan ketahanan retak dibandingkan dengan 8YSZ, hal

ini terkait dengan transformasi yang disebabkan oleh tekanan ke fase monoklinik pada zirkonia terstabilkan sebagian.

Gurudayal dkk. [54] melaporkan sifat optik fasa kubik terstabilkan pada lapisan tipis zirkonia tanpa doping pada suhu kamar. Lapisan tipis zirkonia tanpa doping disiapkan dengan *spin coating* menggunakan larutan zirkonil nitrat hidrat dalam 2-metoksietanol, dan berikutnya dianil pada suhu 500 °C selama 2 jam dalam udara bebas. Film ini distabilkan dalam fase kubik  $\text{CaF}_2$  pada suhu kamar tanpa dopan; parameter kisi dan ukuran kristal rata-rata masing-masing = 5,09 Å,  $d \sim 15$  nm. Transmisi optiknya berada antara 65% - 76% pada rentang panjang gelombang 420 nm - 900 nm dan nilai gap pita energi  $\sim 5,56$  eV. Gurudayal dkk. al [54] menjelaskan bahwa stabilitas fasa kubik dikaitkan dengan efek ukuran terinduksi yang menyebabkan variasi jarak Zr-O, perbedaan jumlah koordinasi, kekosongan oksigen, dan/atau pusat cacat F dengan transisi optik yang terjadi pada 3,13 eV, 4,23 eV, dan 4,49 eV.



Gambar 3. Pengaruh Faktor Intrinsik dan Ekstrinsik Sifat Optik ZrO<sub>2</sub>

## VI. APLIKASI BIOMEDIS

Stabilitas kimia dan dimensi yang baik, kekuatan mekanik, ketahanan retak, dan modulus Young yang serupa dengan paduan baja tahan karat membuat zirkonia menjadi bahan kimia keramik yang sangat baik [55]. Keramik zirkonia adalah bahan bio-inert yang kompatibel untuk dunia biomedis dalam penyebarannya sebagai implan untuk manusia. Keramik zirkonia umumnya digunakan untuk mengganti jaringan keras di tubuh seperti tulang dan gigi. Gugus bio-keramik dalam biokompatibilitas yang terbuat dari oksida keramik seperti dari YSZ bersifat inert di dalam tubuh [55, 56]. Material bio inert tidak melepaskan zat beracun apapun tetapi juga tidak menunjukkan interaksi positif dengan jaringan hidup [55].

Sakthivel, dkk. [57], mempelajari perilaku mekanik film tipis keramik zirkonia bio-inert pada

substrat kaca yang telah disiapkan dengan menggunakan teknik *dip-coating* dan telah mendapat perlakuan termal pada suhu 850 °C. Analisis difraksi sinar-X menunjukkan struktur kristal tetragonal zirkonia. Ukuran butir rata-rata keramik ZrO<sub>2</sub> yang diperoleh adalah 22 nm - 46 nm. Sakthivel, dkk. [57], menemukan bahwa analisis mikrostruktur ZrO<sub>2</sub> dengan SEM telah memberikan morfologi permukaan yang sangat membantu dalam merancang bio-struktur. Karakteristik mekanik dari nilai Modulus Young yang terukur dari bio-keramik zirkonia adalah 174.449 GPa sangat sesuai dengan nilai standar. Film keramik ZrO<sub>2</sub> dengan cluster butir digabungkan bersama-sama dan membentuk partikel berukuran besar sekitar 450 nm-1850 nm. Morfologi permukaan keramik ZrO<sub>2</sub> sangat berguna dalam aplikasi ortopedi. Analisis hasil dari metode kantilever keramik ZrO<sub>2</sub> memiliki kekuatan mekanik yang

tinggi. Sakthivel, dkk. [57] menyimpulkan bahwa perilaku mekanik film tipis keramik bio-inert zirkonia menunjukkan kompatibilitas biologis.

Wang et. Al. [58] melaporkan bioaktivitas in vitro dan stabilitas fase pelapis 3Y-TZP berstruktur nano *plasma-sprayed* yang dideposisi pada substrat Ti. Bioaktivitas in vitro pelapis dievaluasi dengan memeriksa pembentukan apatit seperti tulang pada permukaannya dalam cairan tubuh simulasi. Garis sel MG63 dikultur pada lapisan untuk menyelidiki sitokompatibilitasnya. Lapisan yang disemprotkan hanya terdiri dari zirkonia tetragonal dan memiliki ukuran butiran kurang dari 100 nm. Apatit dapat mengendap pada permukaan lapisan yang direndam dalam cairan tubuh simulasi selama 28 hari sementara tidak ada apatit yang terbentuk pada permukaan keramik kontrol 3Y-TZP, yang menunjukkan bahwa bioaktivitas lapisan lebih unggul dari keramik dengan komposisi yang sama. Ini juga mengungkapkan bahwa lapisan yang dipoles pada lapisan nano paling atas yang hilang bersifat bioinert, yang menyiratkan pentingnya butiran nanosisasi untuk bioaktivitasnya. Sel MG63 dapat bertahan, tumbuh dan

berkembang baik dengan baik pada permukaan pelapis, menunjukkan bahwa lapisan tersebut memiliki sitokompatibilitas yang baik.

Thaveedeetrakul, et. Al. [59] mempelajari bioaktivitas film tipis zirkonia terhadap pertumbuhan hidroksiapatit (HA) ke permukaannya. Lapisan tipis Zirkonia diendapkan dengan teknik *DC un-balanced magnetron sputtering* yang diikuti dengan perlakuan termal. Lapisan tipis  $ZrO_2$  hanya terdiri dari fase monoklinik. Untuk mengetahui karakteristik bioaktivitas film tipis zirkonia, Thaveedeetrakul, et. Al. [59] merendamnya dalam larutan SBF untuk mendemonstrasikan apatit yang seperti tulang pada film  $ZrO_2$ . Hasil penelitian menunjukkan bahwa lapisan HA yang lebih padat dan lebih kontinyu diamati pada film tipis  $ZrO_2$  yang dianil. Oleh karena itu, Thaveedeetrakul, et. Al. [59] menyimpulkan bahwa film tipis  $ZrO_2$  yang disputtering menunjukkan bioaktivitas yang baik.

## VII. KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian di atas, dapat disimpulkan bahwa sifat yang sangat baik dari film tipis zirkonia telah menjadikannya material yang

penting untuk dikembangkan dalam berbagai aplikasi. Lapisan tipis Zirkonia dengan sifat fisik dan mekaniknya yang menarik telah digunakan untuk memperbaiki material lainnya melalui mekanisme pelapisan. Lapisan tipis nanokristalin YSZ yang menunjukkan konduktivitas ion lebih tinggi telah dikembangkan untuk komponen elektrolit SOFC. Konstanta dielektrik yang tinggi dari film tipis zirkonia membuat mereka sekarang dianggap sebagai kandidat potensial untuk bahan dielektrik gerbang baru. DMS dengan tingkat yang baru, dilute magnetic oxides (DMO), logam transisi yang didoping film tipis zirkonia(TM), sedang dikembangkan dan diinvestigasi untuk perangkat elektronik berbasis spin. Film tipis YSZ dengan indeks bias tinggi telah banyak diteliti dan dikembangkan untuk aplikasi optik. Karakteristik bio-inert dan biokompatibilitas film tipis zirkonia telah menjadikannya biomaterial keramik yang sangat baik untuk bidang biomedis sebagai implan untuk manusia seperti untuk tulang dan gigi.

#### DAFTAR PUSTAKA

1. N.Q. Minh. Ceramic Fuel Cells. *J Am. Ceram. Soc.* 76 [3] 563-588 (1993).
2. P. Li and J.T.S. Irvine, Fabrication of Anode-Supported Zirconia Thin Film Electrolyte Based Core-Shell Particle Structure for Intermediate Temperature Solid Oxide Fuel Cells, *Progress in Natural Science: Materials International*, 23 [3] 302-307 (2013).  
<http://dx.doi.org/10.1016/j.pnsc.2013.05.004>
3. A. J. B. Dutra, R. J. F. da Silva, and A. C. Afonso. *Water and Sulfuric Acid Leaching of a Brazilian Zircon Concentrate Processed by Alkali Fusion*. <http://www.arber.com.tr/imps2012.org/proceedingsebook/Abstract/abstractfilAbstractSubmissionFullContent170.pdf>. (2011). Diakses Oktober 2012.
4. S. Shukla, S. Seal, R. Vij and S. Bandyopadhyay, Effect of HPC and Water Concentration on the Evolution of Size, Aggregation and Crystallization of Sol-Gel Nano Zirconia, *J. Nanoparticle Res.*, 4, 553-559 (2002).
5. A.M. Amer. Kinetics of Alkali Pressure Leaching of Mechanically Modified Zircon Concentrate.

- Physicochemical Problems of Mineral Processing*, 40, 61-68 (2006).
6. S. Roy, "Nanocrystalline Undoped Tetragonal and Cubic Zirconia Synthesized Using Poly-Acrylamide as Gel and Matrix", *J Sol-Gel Sci Technol*, 44, 227-233 (2007).
  7. A.K. Bandyopadhyay. *Nano Materials*. New Age International, New Delhi, India, 2008.
  8. K.C. Patil, M.S. Hedge, T. Rattan, and S.T. Aruna, *Chemistry of Nanocrystalline Oxide Materials, Combustion Synthesis, Properties and Applications*, World Scientific, New Jersey, 2008.
  9. A. A. Reka, B. Pavlovski, and B. Cekova, Special Ceramics Based on Partially Stabilized Zirconium Dioxide, Original scientific paper, UDC 666.3/.7:666.195:537.531.7, [http://www.academia.edu/4946213/Special\\_Ceramics\\_Based\\_On\\_Partially\\_Stabilized\\_Zirconium\\_Dioxide](http://www.academia.edu/4946213/Special_Ceramics_Based_On_Partially_Stabilized_Zirconium_Dioxide), Diunduh Tanggal 9 Maret 2014.
  10. R. Septawendar, B. S. Purwasasmita, and S. Sutardi, "Effect of the Hydrolysis Catalyst NH<sub>4</sub>OH on the Preparation of Calcia Stabilized Zirconia with Sugar as A Masking Agent at Low Temperatures", *Journal of the Australian Ceramic Society*, 49 [1] 101-108 (2013).
  11. V. N. Cancea, R. Birjega, V. Ion, M. Filipescu, and M. Dinescu. Analysis of Zirconia Thin Films Grown by Pulsed Laser Deposition. *Physics AUC*. 22 50-62 (2012).
  12. S. Nath, N. Sinha, and B. Basu. Microstructure, Mechanical and Tribological Properties of Microwave Sintered Calcia-Doped Zirconia for Biomedical Applications. *Ceramics International*, 34, 1509-1520 (2008).
  13. L. Li, P. Zhang, J. Liang, and S.M. Guo, Phase Transformation and Morphological Evolution of Electrospun Zirconia Nanofibers During Thermal Annealing, *Ceramics International*, 36, 589-594 (2010).
  14. R. Septawendar, B. S. Purwasasmita, dan Suhandi, "Penyiapan Nanopartikel Zirkonia Terstabilkan Magnesia (Mg-PSZ) pada Suhu Kalsinasi Rendah dengan Metode Gel Koloidal", *Jurnal Keramik dan Gelas Indonesia*, 21 [1] 44-59 (2012).
  15. V. Thakare, Progress in Synthesis and Applications of Zirconia, *International Journal of*



- Engineering Research and Development*, 5 [1] 25-28 (2012), e-ISSN: 2278-067X, p-ISSN: 2278-800X, [www.ijerd.com](http://www.ijerd.com)
- 16.A. Afzal. Implantable Zirconia Bioceramics for Bone Repair and Replacement: A Chronological Review, *Mater. Express*, 4 [1] 1-12 (2014).  
doi:10.1166/mex.2014.1148
- 17.Y. Li, M. Liu, J. Gong, Y. Chen, Z. Tang, and Z. Zhang. Grain-Boundary Effect In Zirconia Stabilized with Ytria and Calcia by Electrical Measurements. *Materials Science and Engineering*, B103 108-114 (2003).
- 18.P. Duwez, F. Odell, and F. H. Brown, Jr. "Stabilization of Zirconia with Calcia and Magnesia", *J. Am. Ceram. Soc.*, 35 [5] 107-113 (1952).
- 19.Z. Li, W. E. Lee, and S. Zhang, Low-temperature Synthesis of CaZrO<sub>3</sub> Powder from Molten Salts", *J. Am. Ceram. Soc.*, 90 [2] 364-368 (2007).
- 20.L. P. Borilo, L. N. Spivakova. Synthesis and Characterization of ZrO<sub>2</sub> Thin Films. *American Journal of Materials Science*. 2 [4] (2012) 119-124 DOI: 10.5923/j.materials.20120204.04
- 21.A. Carrado, H. Pelletier and T. Roland. Nanocrystalline Thin Ceramic Films Synthesised by Pulsed Laser Deposition and Magnetron Sputtering on Metal Substrates for Medical Applications, *Biomedical Engineering - From Theory to Applications*, Prof. Reza Fazel (Ed.), pp. 253-274. (2011). ISBN: 978-953-307-637-9, InTech, Available from: <http://www.intechopen.com/books/biomedical-engineering-from-theory-toapplications/nanocrystalline-thin-ceramic-films-synthesised-by-pulsed-laser-deposition-and-magnetronsputtering-o>
- 22.M. G. Krishna. K. N. Rao, and S. Mohan, Structural and Optical Properties of Zirconia Thin Films, *Thin Solid Films*, 193-194 690-695 (1990)
- 23.P. Peshev, I. Stambolova, S. Vassilev, P. Stefanova, V. Blaskov, K. Starbova, N. Starbov, Spray Pyrolysis Deposition of Nanostructured Zirconia Thin Films, *Materials Science and Engineering*. B97 106-110 (2003)
- 24.S. Harasek, H.D. Wanzenboeck, B. Basnar, J. Smoliner, J. Brenner,

- H. Stoeri, E. Gornik, E. Bertagnolli. Metal-Organic Chemical Vapor Deposition and Nanoscale Characterization Of Zirconium Oxide Thin Films. *Thin Solid Films* 414 199–204 (2002)
25. K. Galicka-Fau, C. Legros, M. Andrieux, M. Brunet, J. Szade, G. Garry. Role of the MOCVD Deposition Conditions on Physico-Chemical Properties of Tetragonal ZrO<sub>2</sub> Thin Films. *Applied Surface Science* 255 8986–8994 (2009).
26. A.M. Torres-Huerta, M.A. Domínguez-Crespo, E. Ramírez-Meneses, J.R. Vargas-García. MOCVD of Zirconium Oxide Thin Films: Synthesis and Characterization. *Applied Surface Science* 255 4792–4795 (2009).
27. A. Bendavid and P.J. Martin, Review of Thin Film Materials Deposition by the Filtered Cathodic Vacuum Arc Process at CSIRO, *Journal of the Australian Ceramics Society* 50 [1] 86 – 101 (2014)
28. R. Shacham, D. Mandler, and D. Avnir. Electrochemically Induced Sol-Gel Deposition of Zirconia Thin Films. *Chem. Eur. J.* 10 1936-1943 (2004). DOI: 10.1002/chem.200305469.
29. B. Butz, H. Stormer, D. Gerthsen, M. Bockmeyer, R. Kruger, E. Ivers-Tiffe´e, and M. Luysberg. Microstructure of Nanocrystalline Yttria-Doped Zirconia Thin Films Obtained by Sol–Gel Processing. *J. Am. Ceram. Soc.*, 91 [7] 2281–2289 (2008). DOI: 10.1111/j.1551-2916.2008.02400.x
30. O. Bernard, A.M. Huntz, M. Andrieux, W. Seiler, V. Ji, S. Poissonnet. Synthesis, Structure, Microstructure and Mechanical Characteristics of MOCVD Deposited Zirconia Films, *Applied Surface Science* 253 4626–4640 (2007)
31. Z. Gan, G. Yu, Z. Zhao, C. M. Tan, and B. K. Tay. Mechanical Properties of Zirconia Thin Films Deposited by Filtered Cathodic Vacuum Arc. *J. Am. Ceram. Soc.*, 88 [8] 2227–2229 (2005).
32. R. N. Chan, B. R. Stoner, J.Y. Thompson, R. O. Scattergood, J. R. Piascik. Fracture Toughness Improvements of Dental Ceramic through Use of Yttria-Stabilized Zirconia (YSZ) Thin-Film Coatings. *Dental Materials* 29 (2013) 881–887
33. McCabe, John F, Walls Angus W.G. *Applied Dental Materials*, 2008, Blackwell Publishing, Hongkong

34. C. Ko, K. Kerman, and S. Ramanathan. "Ultra-Thin Film Solid Oxide Fuel Cells Utilizing Undoped Nanostructured Zirconia Electrolytes", *Journal of Power Sources*, 213 343-349 (2012). <http://dx.doi.org/10.1016/j.jpowsour.2012.04.034>
35. C. J. Mogab, "Use of Stabilized Zirconia as a Selective Oxygen Leak Source", *the Review of Scientific Instruments*, 43 [11] 1605-1610 (1972).
36. F. M. L. Figueiredo and F. M. B. Marques. *Electrolytes for Solid Oxide Fuel Cells*. WIREs Energy Environ. 2012. doi: 10.1002/wene.23
37. O.I. Malyi, P. Wu, V.V. Kulish, K. Bai, and Z. Chen. "Formation and Migration of Oxygen and Zirconium Vacancies in Cubic Zirconia and Zirconium Oxysulfide", *Solid State Ionics*. 212 117–122 (2012).
38. R. Ramamoorthy, P. K. Dutta, and S. A. Akbar. "Oxygen Sensors: materials, methods, designs and applications", *Journal of Materials Science*. 38 4271 – 4282 (2003).
39. W. Jung, J. L. Hertz, H. L. Tuller, "Enhanced Ionic Conductivity and Phase Meta-Stability of Nano-Sized Thin Film Yttria-Doped Zirconia (YDZ)", *Acta Materialia*. 57 1399–1404 (2009).
40. D. Eder and R. Kramera, "Impedance Spectroscopy of Reduced Monoclinic Zirconia", *Phys. Chem. Chem. Phys.* 8 4476–4483 (2006).
41. Y. Zhang, J. Gao, D. Peng, M. Guangyao, and X.Liu. "Dip-Coating Thin Yttria-Stabilized Zirconia Films for Solid Oxide Fuel Cell Applications", *Ceramics International*. 30 1049–1053 (2004).
42. J. H. Shim, Cheng-Chieh Chao, H. Huang, and F. B. Prinz. "Atomic Layer Deposition of Yttria-Stabilized Zirconia for Solid Oxide Fuel Cells", *Chem. Mater.* 19 3850-3854 (2007).
43. C. Brahim, A. Ringuede', M. Cassir, M. Putkonen, and L. Niinisto". "Electrical Properties of Thin Yttria-Stabilized Zirconia Overlayers Produced by Atomic Layer Deposition for Solid Oxide Fuel Cell Applications", *Applied Surface Science*. 253 3962–3968 (2007).
44. E-O. Oh, C-M. Whang, Y-R. Lee, J-H. Lee, K. J. Yoon, B-K. Kim, J-W. Son, J-H. Lee, and H-W. Lee. "Thin Film Yttria-stabilized Zirconia

- Electrolyte for Intermediate-Temperature Solid Oxide Fuel Cells (IT-SOFCs) by Chemical Solution Deposition”, *Journal of the European Ceramic Society*. 32 1733–1741 (2012).
45. A.A. Solovyev, N.S. Sochugov, S.V. Rabotkin, A.V. Shipilova, I.V. Ionov, A.N. Kovalchuk, and A.O. Borduleva. “Application of PVD Methods to Solid Oxide Fuel Cells”, *Appl. Surf. Sci.* (2014), <http://dx.doi.org/10.1016/j.apsusc.2014.03.163>.
46. T. Setoguchi, M. Sawano, K. Eguchi, and H. Arai, “Application of the Stabilized Zirconia Thin Film Prepared by Spray Pyrolysis Method to SOFC”, *Solid State Ionics*. 40/41, 502-505 (1990)
47. D. Sangalli, E. Cianci, A. Lamperti, R. Ciprian, F. Albertini, F. Casoli, P. Lupo, L. Nasi, M. Campanini, and A. Debernardi. Exploiting Magnetic Properties of Fe Doping in Zirconia: from first-principles simulations to the experimental growth and characterization of thin films. *Eur. Phys. J. B* 1-6 (2013). DOI: 10.1140/epjb/e2013-30669-3
48. Y-K. Lee, J-W. Park. Optical Properties and Stresses of RF Magnetron Sputtered Yttria-Stabilized Zirconia Thin Films. *Journal of Materials Science Letters* 15 1513-1516 (1996).
49. Reza Shahmiri, MEngStMedTech, Owen Christopher Standard, PhD, Judy N. Hart, PhD, and Charles Christopher Sorrell, PhD, Systematical review optical properties of zirconia ceramics for esthetic dental restorations: A systematic review, *The journal of Prosthetic Dentistry*, Volume 119 Issue 1, 2015
50. M. Swarnalatha, A.F. Stewart, A.H. Guenther, and C.K. Carniglia. Optical and Structural Properties of Thin Films Deposited from Laser Fused Zirconia, Hafnia, and Ytria. *Appl. Phys.* A54 533-537 (1992).
51. Y. Zhang, S. Jin, C. Liao, C.H. Yan. Microstructures and Optical Properties of Nanocrystalline Rare Earth Stabilized Zirconia Thin Films Deposited By a Simple Sol-Gel Method. *Materials Letters* 56 1030–1034 (2002).
52. W-C. Liu, D. Wu, A-D. Li, H-Q. Ling, Y-F. Tang, N-B. Ming. Annealing and Doping Effects on Structure and Optical Properties of Sol-Gel Derived ZrO<sub>2</sub> Thin Films. *Applied Surface Science* 191 181-187 (2002).

53. S. Heiroth, R. Ghisleni, T. Lippert, J. Michler, A. Wokaun. Optical and Mechanical Properties of Amorphous and Crystalline Yttria-Stabilized Zirconia Thin Films Prepared By Pulsed Laser Deposition. *Acta Materialia* 59 2330–2340 (2011).
54. Gurudayal, A. K. Srivastava, J. Kumar. On The Emergence of A Stabilized Cubic Phase in Pure Zirconia Thin Films at Room Temperature. *Materials Letters* 83 172–174 (2012).
55. X. Liu, A. Huang, C. Ding, P. K. Chu. Bioactivity and Cytocompatibility of Zirconia (ZrO<sub>2</sub>) Films Fabricated By Cathodic Arc Deposition. *Biomaterials* 27 3904–3911 (2006).
56. E. C. Teixeira, J. R. Piascik, B. R. Stoner, and J. Y. Thompson. Zirconia–Parylene Multilayer Thin Films for Enhanced Fracture Resistance of Dental Ceramics. *Proc. IMechE* 223 Part H: *J. Engineering in Medicine*. 897-902 (2009)
57. S. Sakthivel, D. Saritha and V. Baskaran, Bio-Compatibility of Zirconia (ZrO<sub>2</sub>) Ceramic Thin Films. *J. Pure Appl. & Ind. Phys.* 4 [4] 159-162 (2014)
58. G. Wang, X. Liu, J. Gao, C. Ding. In Vitro Bioactivity and Phase Stability of Plasma-Sprayed Nanostructured 3Y-TZP Coatings. *Acta Biomaterialia* 5 2270–2278 (2009)
59. A. Thaveedeetrakul, V. Boonamnuayvitaya, N. Witit-anun. Apatite Deposition on ZrO<sub>2</sub> Thin Films by DC Unbalanced Magnetron Sputtering. *Advances in Materials Physics and Chemistry*, 2 45-48 (2012)