

# PENGARUH JUMLAH TRITON X-100, SUHU DAN WAKTU TAHAN KALSINASI TERHADAP SINTESIS POWDER ZIRKONIA DAN APLIKASINYA DALAM MENDEGRADASI METIL ORANGE

Nono Darsono, Tuty Emilia Agustina\*, Novandra Eko Aristian, Yogi Pratama

\*Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya  
Jl. Raya Palembang - Prabumulih Km. 32 Indralaya, OI, Sumatera Selatan 30662  
Email: [tutycurtin@yahoo.com](mailto:tutycurtin@yahoo.com)

## Abstrak

Zirkonia merupakan material semikonduktor yang memiliki sifat polimorf. Material ini memiliki keunggulan yaitu konduktivitas termal rendah (4,2 Wm-1K-1 pada suhu kamar), kekerasan tinggi (untuk fase monoklinik sebesar 18 GPa dan untuk fase amorf sebesar 14-11 GPa), ketahanan terhadap korosi, dan *band gap* yang besar (5 eV). Berbeda dari zirkonia biasa, ketika ukuran zirkonia diubah menjadi nano, sifat-sifatnya pun berubah. Metode yang digunakan untuk sintesis nanopowder ini adalah metode sol gel. Tujuan penelitian ini adalah mengetahui ukuran kristal yang terbentuk dan struktur partikel dengan pengaruh jumlah triton X-100 (0%, 5%, 10%) berat, suhu kalsinasi (700°C, 800°C, 900°C), serta waktu tahan kalsinasi (1 jam, 2 jam, 3 jam). Zirkonia yang telah disintesis diaplikasikan dalam mendegradasi metil orange sebagai fotokatalis, ditinjau persen degradasi dari metil orange. Hasil analisa SEM menunjukkan bahwa ukuran zirkonia terkecil terdapat pada zirkonia yang disintesis pada suhu kalsinasi 800°C, menggunakan 10% of Triton X-100, dan lebih homogen pada waktu tahan kalsinasi 2 jam. Persen degradasi metil orange terbesar yaitu pada pengaruh suhu kalsinasi 800 ° C, menggunakan 10% triton X-100, dan waktu tahan kalsinasi 3 jam.

**Kata kunci:** Zirkonia, nanopowder, sol gel, surfaktan

## Abstract

*Zirconia is semiconductor material that have polimorf properties. This material has several advantages, namely low thermal conductivity (4.2 Wm-1K-1 at room temperature), high hardness (for the monoclinic phase at 18 GPa and for the amorphous phase of 14-11 GPa), corrosion resistance, and great band gap (5 eV). Different from ordinary zirconia, when converted to nano size, its properties changed. The method used for powder synthesis is sol gel method. The purpose of this study was to determine the size of the crystals that form and structure of the particles with influence the amount of triton X-100 (0%, 5%, 10%) by weight, calcination temperature (700 °C, 800 °C, 900 °C), as well as the holding time calcination (1 hour, 2 hours, 3 hours). Zirconia which has been synthesized applied to degrade methyl orange as a photo catalyst, reviewed percent degradation of methyl orange. SEM analysis results showed that the smallest zirconia size contained in the zirconia synthesized at calcination temperature of 800°C, using 10% of Triton X-100 and more homogeneous in the holding time of calcination for 2 hours. Largest degradation of methyl orange result on the influence of zirconia synthesized at calcination temperature of 800 ° C, using 10% triton X-100, and the holding time of calcination 3 hours.*

**Keywords:** Zirconia, nanopowder, sol gel, surfactant

## 1. PENDAHULUAN

Zirkonium atau Zirkonia ( $ZrO_2$ ) merupakan logam yang mempunyai ketahanan korosi yang besar, baik terhadap asam maupun terhadap basa pada berbagai suhu dan konsentrasi. Zirkonia nanopowder biasa digunakan untuk sensor gas oksigen di dunia otomotif, thin film, membran, pelapis anti panas, pigmen, penanda diagnosis sel tumor, dan lain-lain.

Nanopowder dari Zirkonium Oksida merupakan suatu material yang dapat dibuat menggunakan prekursor  $ZrOCl_2 \cdot 8H_2O$  (ZOC) dengan menggunakan metode sol-gel. Metoda sol-gel merupakan metoda yang paling sederhana karena ukuran, bentuk dan kehomogenan campuran dapat dikontrol, serta suhu prosesnya yang rendah

Penambahan triton sebagai surfaktan dan  $TiCl_4$  sebagai doping mempunyai pengaruh dari hasil nanopowder. Pengaruh yang diamati yaitu terhadap sifat partikel dan ukuran partikel. Pada penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh penambahan triton sebagai surfaktan dengan variasi triton yaitu 0%, 5%, dan 10% berat dan  $TiCl_4$  sebagai doping dengan variasi 16%.

Berdasarkan latar belakang di atas maka dilakukanlah penelitian ini untuk mengetahui ukuran dari sintesis nanopowder  $ZrO_2$  menggunakan prekursor  $ZrOCl_2 \cdot 8H_2O$  metode sol-gel dan mengetahui pengaruh suhu kalsinasi, waktu tahan, dan Triton X-100 (0, 5, 10) persen berat dalam pembentukan powder  $ZrO_2$  dan aplikasinya dalam mendegradasi metil orange.

### Zirkonia

Zirkonium (Zirkonia) merupakan logam yang mempunyai ketahanan korosi yang besar, baik terhadap asam maupun terhadap basa pada berbagai suhu dan konsentrasi. Zirkonia merupakan material semikonduktor yang memiliki sifat polimorf dimana memiliki struktur kubik pada suhu tinggi ( $>2370^\circ C$ ), tetragonal pada suhu menengah ( $1170^\circ C - 2370^\circ C$ ) dan monoklinik pada suhu rendah ( $1170^\circ C$ ). Material ini memiliki beberapa keunggulan yaitu konduktivitas termal rendah ( $4,2 \text{ Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$  pada suhu kamar), kekerasan tinggi (untuk fase monoklinik sebesar 18 GPa dan untuk fase amorf sebesar 14-11 GPa), ketahanan terhadap korosi, dan band gap yang besar (5 eV). (Ardiansyah, 2011).

### Nanopowder Zirkonia

Berbeda dari zirkonia biasa, ketika ukuran zirkonia diubah menjadi nano, sifat-sifatnya pun berubah. Kemajuan dalam sintesis bahan zirkonia dengan perkembangan daerah permukaan yang baik dapat meningkatkan kinerja secara

signifikan sehingga digunakan secara komersial sebagai katalis.  $ZrO_2$  nanopowder biasa digunakan untuk sensor gas oksigen di dunia otomotif, thin film, membran, pelapis anti panas, pigmen, penanda diagnosis sel tumor, dll. (Y. Suchorski et al, 2008).

### Metode Sol Gel

Sintesis nanopartikel  $ZrO_2$  dapat dilakukan melalui sebuah proses yang disebut dengan metode sol-gel yang merupakan salah satu metode yang paling sukses dalam mempersiapkan material oksida logam berukuran nano. Sol adalah suspensi koloid yang fasa terdispersinya berbentuk solid (padat) dan fasa pendispersinya berbentuk liquid (cairan). Suspensi dari partikel padat atau molekul-molekul koloid dalam larutan, dibuat dengan metal alkoxi dan dihidrolisis dengan air, menghasilkan partikel padatan metal hidroksida dalam larutan. Reaksinya adalah reaksi hidrolisis.

Gel (*gelation*) adalah jaringan partikel atau molekul, baik padatan dan cairan, dimana polimer yang terjadi di dalam larutan digunakan sebagai tempat pertumbuhan zat anorganik. Pertumbuhan anorganik terjadi di gel point, dimana energi ikat lebih rendah. Reaksinya adalah reaksi kondensasi, baik alkohol atau air, yang menghasilkan *oxygen bridge* (jembatan oksigen) untuk mendapatkan metal oksida.

### Penggunaan Triton X-100 sebagai Surfaktan dalam Metoda Sol Gel

Surfaktan merupakan molekul yang memiliki satu bagian yang dapat mengikat media nonpolar dan bagian lainnya yang dapat berikatan dengan media polar. Molekul seperti ini memiliki tegangan permukaan yang lebih rendah dari media pelarutnya. Dua karakteristik utama dari surfaktan yaitu kemampuan adsorpsi dan kemampuan *self-accumulation* pada struktur supramolekular merupakan hal yang sangat membantu dalam menstabilkan dispersi koloid. Surfaktan juga memegang peranan penting dalam membantu menurunkan tegangan permukaan dan memisahkan partikel-partikel padatan ke dalam ukuran yang lebih kecil sehingga mudah terdispersi ke dalam media cair (Djulia Onggo et al, 2014)

Yeni Stiadi, et al., (n.d) dalam jurnal penelitiannya menuliskan bahwa pengaruh penggunaan Triton X-100 sebagai surfaktan adalah agar partikel nano yang didapat bersifat homogen dan berbentuk bulatan-bulatan tidak menggumpal (tidak menumpuk).

### Metil Orange

Sumber polusi perairan sering disebabkan oleh zat warna hasil limbah industri. Industri tekstil banyak menghasilkan limbah pewarna mengandung senyawa azo yang sulit terdegradasi, salah satunya zat warna methyl orange. Metode degradasi zat warna banyak

dikembangkan, namun perlu pengembangan lebih lanjut agar mendapatkan hasil yang efektif dan efisien, salah satunya melalui fotodegradasi. Fotokatalisis merupakan proses reaksi kimia yang dibantu dengan katalis padat dan cahaya. Katalis berfungsi mempercepat laju reaksi kimia pada suhu tertentu, tanpa mengalami perubahan. (Seruni Swasti Pundisari, 2013).

Pada penelitian ini, dipilih zat warna azo yang mudah ditemui di laboratorium yaitu metil oranye. Zat warna ini digunakan sebagai cuplikan zat warna tekstil. (Maria Christina, 2007). Metil oranye yang bersifat toksik serta murah dan mudah didapat sebagai zat warna yang akan diuji aktivitas fotodegradasinya. Dalam dunia industri, metil oranye digunakan sebagai zat pewarna tekstil, sementara itu di laboratorium metil orange digunakan sebagai indikator pada titrasi basa lemah dengan asam kuat, di mana trayek pH metil oranye berada di antara pH 3,1 (berwarna merah) sampai dengan pH 4,4 (berwarna orange-kuning).

### Scanning Electron Microscopy (SEM)

SEM merupakan suatu mikroskop electron yang mampu untuk menghasilkan gambar beresolusi tinggi dari sebuah permukaan sampel. Gambar yang dihasilkan oleh SEM memiliki karakteristik penampilan tiga dimensi, dan dapat digunakan untuk menentukan struktur permukaan dari sampel. Hasil gambar dari SEM hanya ditampilkan dalam warna hitam putih.

Proses pemindaian (*scanning proses*) SEM secara singkat dapat dijelaskan sebagai berikut. Sinar elektron, yang biasanya memiliki energi berkisar dari beberapa ribu eV hingga 50 kV, difokuskan oleh satu atau dua lensa condenser menjadi sebuah sinar dengan spot focal yang sangat baik berukuran 1 nm hingga 5  $\mu\text{m}$ . Sinar tersebut melewati beberapa pasang gulungan pemindai (*scanning coils*) di dalam lensa objektif, yang akan membelokkan sinar itu dengan gaya raster diatas area berbentuk persegi dari permukaan sampel. Selagi elektron-elektron primer mengenai permukaan, mereka dipancarkan secara inelastis oleh atom-atom di dalam sampel. Melalui kejadian penghamburan ini, sinar elektron primer menyebar secara efektif dan mengisi volume berbentuk air mata, yang dikenal sebagai volume interaksi, memanjang dari kurang dari 100 nm hingga sekitar 5 nm ke permukaan. Interaksi di dalam wilayah ini mengakibatkan terjadinya emisi elektron sekunder, yang kemudian dideteksi untuk menghasilkan sebuah gambar. Elektron-elektron sekunder akan ditangkap oleh detektor, dan mengubah sinyal tersebut menjadi suatu sinyal gambar.

### Spektrofotometri UV-Vis

Spektrofotometri UV-Vis adalah anggota teknik analisis spektroskopik yang memakai sumber REM (radiasi elektromagnetik) ultraviolet dekat (190-380 nm) dan sinar tampak (380-780 nm) dengan memakai instrumen spektrofotometer. Spektrofotometri UV-Vis melibatkan energi elektronik yang cukup besar pada molekul yang dianalisis, sehingga spektrofotometri UV-Vis lebih banyak dipakai untuk analisis kuantitatif dibandingkan kualitatif. Spektrofotometri merupakan salah satu metode dalam kimia analisis yang digunakan untuk menentukan komposisi suatu sampel baik secara kuantitatif dan kualitatif yang didasarkan pada interaksi antara materi dengan cahaya.

## 2. METODOLOGI PENELITIAN

### a. Pencampuran

ZrOCl<sub>2</sub>.8H<sub>2</sub>O dilarutkan kedalam TiCl<sub>4</sub> dalam beker gelas, ditempat lain Triton X-100 (0%, 5%, 10%) dicampurkan dengan NH<sub>3</sub> dan ethanol. ZrOCl<sub>2</sub>.8H<sub>2</sub>O dan TiCl<sub>4</sub> yang telah dilarutkan tadi dicampurkan dengan campuran Triton, NH<sub>3</sub> dan ethanol.

### b. Aging

Dilakukan pendiaman (*Aging*) selama 24 jam pada suhu kamar. Akan terbentuk sol berwarna bening.

### c. Pemanasan

Sampel dipanaskan di hotplate selama 16 jam. Sol sampel akan berubah menjadi gel.

### d. Kalsinasi

Dilakukan kalsinasi di furnace pada suhu yang ditentukan (700°C, 800°C, 900°C) dan waktu tahan yang ditentukan (1 jam, 2 jam, 3 jam).

### e. Pendinginan dan Penggerusan

Setelah dikalsinasi, sampel akan membentuk kerak dan didinginkan pada suhu kamar kemudian digerus menggunakan mortar untuk mendapatkan bubuk zirkonia.

### f. Pengujian.

#### a) Uji SEM (*Scanning Electron Microscopy*)

Uji SEM yang digunakan adalah jenis SEM EDX yaitu untuk mengetahui ukuran partikel dan komposisi dari sampel tersebut.

#### b) Uji Spektroskopi UV-Vis (*UV-Visible*)

Untuk menganalisa kandungan aromatik senyawa anionik dan kationik, dan menentukan nilai absorben dan transmisi cahaya.

Prosedur Analisa UV-VIS Spektroskopi

Bahan:

a. Metil orange (100 ppm)

100 mg dalam 1 liter air = 0,1 gr dalam 1 liter air

b. Sampel (1000 ppm)

1000 mg dalam 1 liter air = 1 gr dalam 1 liter air = 0,05 gr dalam 50 ml air

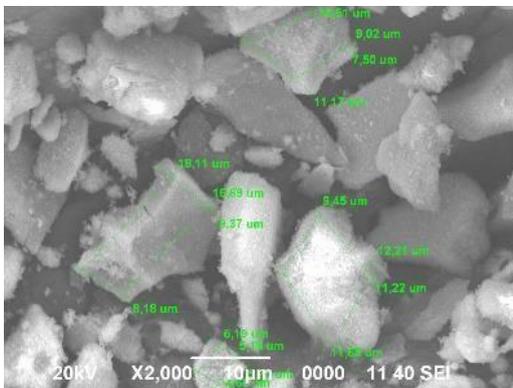
Prosedur:

1. Blanko = metil orange 0,1 gr dilarutkan dalam 1 liter air
2. Sampel = 0,05 gr dilarutkan dalam 50 ml campuran air dan metil orange (100 ppm/blanko)
3. Blanko dan tiga sampel dimasukkan dalam alat UV-VIS sambil diaduk menggunakan magnetic stirrer. Diambil 5 ml sampel tiap (30, 60, 90, 120, dan 150) menit lalu simpan dalam botol kecil.
4. Empat sampel dibuat 1000 ppm dari 50 ml blanko. Diberi perlakuan yang sama dengan sampel 1, 2, dan 3.
5. Delapan sampel (7 sampel ZrO<sub>2</sub> + blanko) dengan variasi waktu (30, 60, 90, 120, dan 150) menit. Jadi, total ada 40 sampel dianalisa nilai absorben terhadap cahaya UV dengan nilai panjang gelombang 465-475 nm yang diterima dengan waktu yang ditentukan tersebut.

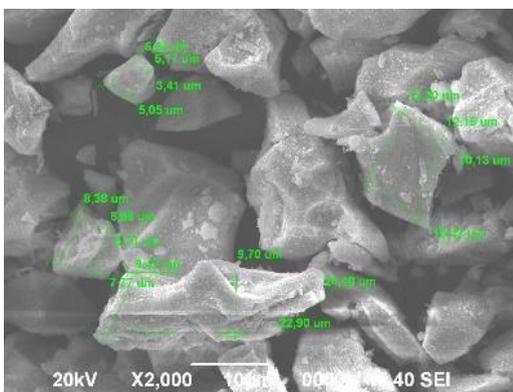
### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 3.1. Hasil Scanning SEM

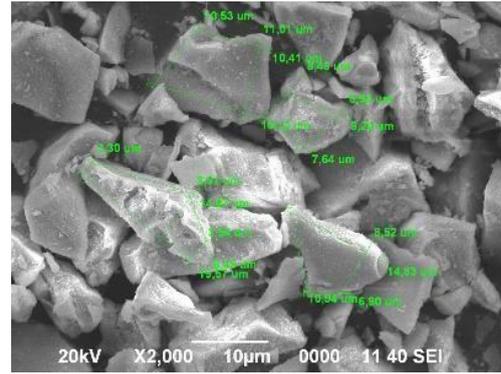
##### Pengaruh Jumlah Triton Terhadap Permukaan dan Ukuran Partikel



(a)



(b)

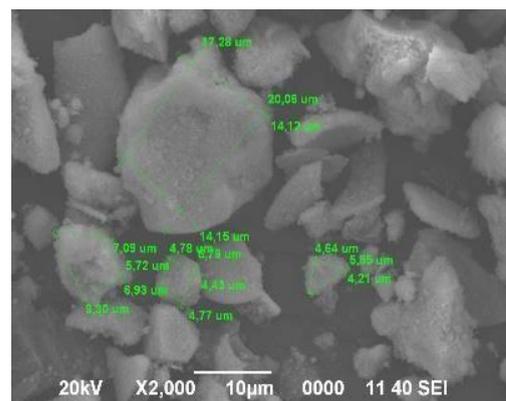


(c)

**Gambar 1.** ZrO<sub>2</sub> menggunakan jumlah triton: a). 0 %, b) 5 %, dan c) 10%

Dari gambar (1), dapat dilihat bahwa powder zirkonia yang terbentuk berukuran mikron, dengan ukuran dan bentuk yang berbeda-beda. Yeni Stiadi, et al., (n.d) dalam jurnal penelitiannya menuliskan bahwa pengaruh penggunaan Triton X-100 sebagai surfaktan adalah agar partikel nano yang didapat bersifat homogen dan berbentuk bulatan-bulatan tidak menggumpal (tidak menumpuk). Untuk variasi Triton X-100, terlihat bahwa penggunaan Triton X-100 menyebabkan ukuran partikel homogen dan permukaan yang lebih halus. Dan juga, rata-rata ukuran partikel antara sampel dengan variasi Triton X-100 5, 10%, dan tanpa Triton X-100, tidak jauh berbeda secara signifikan yaitu sekitar 2-20  $\mu$ m.

##### Pengaruh Suhu Kalsinasi Terhadap Permukaan dan Ukuran Partikel



(a)



adalah waktu yang optimal untuk membentuk zirkonia yang berukuran kecil. Dan juga, rata-rata ukuran partikel antara sampel dengan variasi waktu tahan kalsinasi 1 jam, 2 jam, dan 3 jam tidak jauh berbeda secara signifikan, yaitu sekitar 1-22  $\mu\text{m}$ .

### 3.2. Hasil UV-VIS Spektrofotometer

Dari hasil penelitian Pengaruh Jumlah Triton X-100, Suhu dan Waktu Tahan Kalsinasi terhadap Sintesis Powder Zirkonia dan aplikasinya dalam Mendegradasi Metil Orange yang dilakukan di Pusat Penelitian Metalurgi dan Material, didapatkan data berupa nilai absorbansi dari masing-masing sampel sebelum dan sesudah pengolahan.

**Tabel 1.** Nilai Absorbansi Sampel dalam Waktu Tertentu

Waktu (menit)	Absorbansi Sampel							
	1	2	3	4	5	6	7	8
30	0,976	0,962	0,964	0,995	0,958	0,975	0,965	1,005
60	0,985	0,961	0,962	0,995	0,977	0,973	0,967	0,999
90	0,981	0,966	0,963	0,997	0,981	0,973	0,963	1,01
120	0,982	0,971	0,964	0,996	0,98	0,966	0,965	0,996
150	0,979	0,959	0,963	0,992	0,98	0,973	0,969	0,999

Keterangan :

- Sampel 1: 0 % Triton, suhu kalsinasi 900 C, waktu kalsinasi 2 jam
- Sampel 2: 5 % Triton, suhu kalsinasi 900 C, waktu kalsinasi 2 jam
- Sampel 3: 10 % Triton, suhu kalsinasi 900 C, waktu kalsinasi 2 jam
- Sampel 4: 0 % Triton, suhu kalsinasi 900 C, waktu kalsinasi 1 jam
- Sampel 5: 0 % Triton, suhu kalsinasi 900 C, waktu kalsinasi 3 jam
- Sampel 6: 0 % Triton, suhu kalsinasi 700 C, waktu kalsinasi 2 jam
- Sampel 7: 0 % Triton, suhu kalsinasi 800 C, waktu kalsinasi 2 jam
- Sampel 8: blanko

Nilai absorbansi tersebut selanjutnya dimasukkan kedalam persamaan berikut:

$$\text{Degradasi Warna} = \left[ 1 - \left( \frac{A_{\text{akhir}}}{A_{\text{awal}}} \right) \right] \times 100\% \quad \dots (1)$$

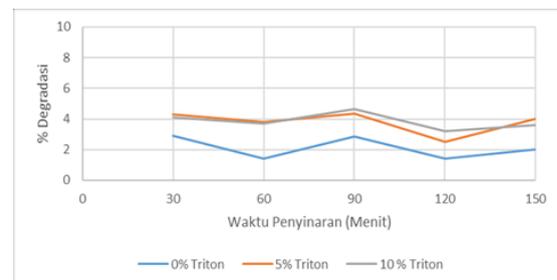
Keterangan:

$A_{\text{awal}}$  = Nilai absorbansi awal

$A_{\text{akhir}}$  = Nilai absorbansi akhir

Persamaan ini digunakan untuk mengetahui persen degradasi warna dari masing-masing sampel, dimana awal adalah nilai absorbansi sampel pada kondisi awal dan Akhir adalah nilai absorbansi sampel pada waktu tertentu.

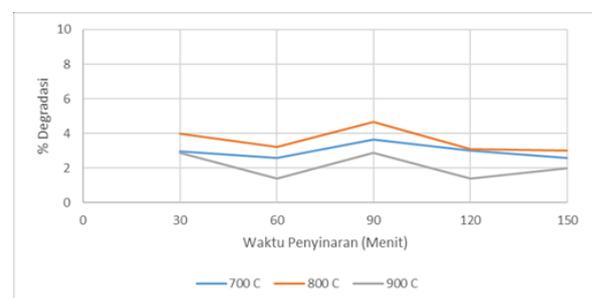
### Pengaruh Jumlah Triton Terhadap Persentase Degradasi Metil Orange



**Gambar 4.** Pengaruh Jumlah Triton Terhadap Persen Degradasi Metil Orange dalam Berbagai Waktu Penyinaran

Dari gambar (4) dapat dilihat bahwa metil orange terdegradasi paling banyak adalah di sampel yang menggunakan 10% triton. Yeni Stiadi, et al., (n.d) dalam jurnal penelitiannya menuliskan bahwa pengaruh penggunaan Triton X-100 sebagai surfaktan adalah agar partikel nano yang didapat bersifat homogen dan berbentuk bulatan-bulatan tidak menggumpal (tidak menumpuk). Hal ini sesuai dengan hipotesa awal bahwa dengan menggunakan surfaktan seharusnya menjadikan partikel lebih kecil, dikarenakan surfaktan dapat menstabilkan dan juga agar pembentukan partikel tidak menggumpal. Jika ukuran partikel semakin kecil, sifat optikalnya juga meningkat dan dapat mendegradasi lebih banyak metil orange.

### Pengaruh Suhu Kalsinasi Terhadap Persentase Degradasi Metil Orange



**Gambar 5.** Pengaruh Suhu Kalsinasi Terhadap Persen Degradasi Metil Orange dalam Berbagai Waktu Penyinaran

Dari gambar (5) dapat dilihat bahwa metil orange terdegradasi terbesar pada sampel yang disintesis dengan suhu 800°C-1000°C. Hal ini seharusnya menjadikan ukuran partikel zirkonia lebih kecil sehingga mendegradasi metil orange lebih banyak. Elfrida Saragi, dkk (2010) menyebutkan bahwa waktu optimum kalsinasi Zr(OH)<sub>4</sub> yaitu sekitar 2-3 jam dan pada suhu sekitar 800-1000°C.

#### Pengaruh Waktu Tahan Kalsinasi Terhadap Persentase Degradasi Metil Orange



**Gambar 6.** Pengaruh Waktu Tahan Kalsinasi Terhadap Persen Degradasi Metil Orange dalam Berbagai Waktu Penyinaran

Dari gambar (6) dapat dilihat bahwa metil orange terdegradasi paling banyak adalah sampel yang dikalsinasi selama 3 jam. Hal ini sesuai dengan hipotesa awal bahwa dengan kalsinasi selama 2-3 jam adalah optimum, karena ukuran partikel zirkonia menjadi lebih kecil, yang mana akan mendegradasi lebih banyak metil orange. Elfrida Saragi, dkk (2010) menyebutkan bahwa waktu optimum kalsinasi Zr(OH)<sub>4</sub> yaitu sekitar 2-3 jam dan pada suhu sekitar 800-1000°C.

#### 4. KESIMPULAN

1. Dari hasil analisa SEM didapatkan powder zirkonia dengan ukuran mikrometer.
2. Dari hasil analisa SEM didapatkan bahwa semakin banyak jumlah Triton X-100 maka ukuran powder zirkonia akan semakin kecil.
3. Ukuran zirkonia terkecil terdapat pada zirkonia yang disintesis pada suhu kalsinasi 800 °C.
4. Pada hasil analisa SEM didapatkan powder Zirkonia yang yang lebih homogen pada waktu tahan kalsinasi selama 2 jam.
5. Degradasi metil orange terbesar dicapai pada pengaruh zirkonia yang disintesis pada suhu kalsinasi 800 °C, dengan menggunakan 10

% triton X-100, dan waktu tahan kalsinasi 3 jam.

#### Saran

1. Waktu pengadukan diperlama agar proses sol gel berlangsung sempurna.
2. Sebaiknya pada analisa UV-Vis, pengukuran dilakukan dari konsentrasi yang lebih kecil dahulu, kemudian konsentrasi yang lebih besar karena mempengaruhi hasil analisa UV-Vis.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Ardiansyah. 2011. Ekstraksi Senyawa Zirkonia dari Pasir Zirkon Dengan Metode Mechanical Activation. Skripsi. Jakarta: Program Studi Fisika Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Syarif Hidayatullah Jakarta.
- Basahel, S.N., dkk. 2015. Influence of crystal structure of nanosized ZrO<sub>2</sub> on photocatalytic degradation of methyl orange. *Nanoscale Research Letter* 2015, 10:73.
- Borilo, L. P., dan Spivakova, L. N. 2012. Synthesis and Characterization of ZrO<sub>2</sub> Thin Films. *American Journal of Materials Science* 2012, 2(4): 119-124.
- Brinker, C. dkk. *Sol-Gel Science: The Physics And Chemistry Of Sol-Gel Processing*. Academic Press, Inc. An Imprint of Elsevier 1250 Sixth Avenue, San Diego.
- Chiang, Y. M., dkk. 1997. *Physical Ceramic: Principles for Ceramic Science and Engineering*. John Wiley and Sons, New York.
- Christina, M, dkk. 2007. Studi Pendahuluan Mengenai Degradasi Zat Warna Azo (Metil Orange) dalam Pelarut Air Menggunakan Mesin Berkas Elektron 350 Kev/10 Ma. *JFN, Vol.1 No.1, Mei 2007*.
- Dhamayanti, Y, dkk. 2005. Fotodegradasi Zat Warna Methyl Orange Menggunakan Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-Montmorillonit dan Sinar Ultraviolet. *Prosiding Seminar Nasional DIES ke 50 FMIPA UGM*.
- Fadhilah, N. 2012. Penggunaan Zirkonia dalam Bidang Kedokteran Gigi. Skripsi. Makasar: Fakultas Kedokteran Gigi, Universitas Hasanuddin.
- Godlisten N. S., Imran S.M. , Jeong J. S., Engole M., Abbas N., Haider M. S., Jae K. S., KimaHee T. 2014. Sol-gel Synthesis of Photoactive Zirconia-titania from Metal Salts and Investigation of Their Photocatalytic Properties in the Photodegradation of Methylene Blue. *Powder Technology* 258: 99-109.

- Ibrahim, I. A. M., dkk. 2010. Preparation of Spherical silica Nanoparticles: Ströber Silica, *Journal of American Science*, vol.6, No.11, 2010, pp. 985-989.
- Ikhlasul Amal, M., Nora A., Nuraini L., Indah C. N., Lusiana, Darsono N. (2013). Structural Properties of Cobalt Doped Zirconia Powders Prepared by Sol-gel Method. Research Center for Metallurgy and Material, Indonesian Institute of Sciences, PUSPIPTEK
- Ismail, A. R., dkk. 2012. Synthesis of Silica Nanoparticles by Sol-Gel: Size-Dependent Properties, Surface Modification, and Applications in Silica-Polymer Nanocomposites—A Review, *Journal of Nanomaterials* Volume 2012, 15 pages.
- Joy, K., S. S. dkk. 2011. Band Gap Tuning in Nanocomposite ZrO<sub>2</sub>-SnO<sub>2</sub> Thin Film Achieved Through Sol-Gel Co-Deposition Method. *J Sol-Gel Sci Technol* (2012) 61:179–184 DOI 10.1007/s10971-011-2608-3.
- Kaur, S., dkk. (n.d). Preparation and Deposition of Hydroxyapatite on Biomaterials by Sol-Gel Technique-A Review, *Chitkara Chemistry Review* 2013, Vol. 1, No. 2pp. 59–69.
- Lubis, R. U. 2012. Sintesis dan Karakterisasi Pertumbuhan Nanopartikel ZnO Dengan Metode Sol-Gel. Skripsi Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Negeri Medan.
- Mahatmanti, F. W., dkk. 2003. Kajian Termodinamika Penyerapan Zat Warna Indikator Metil Oranye (MO) dalam Larutan Air Oleh Adsorben Kitosan. *JSKA*. Vol.VI.No.2.Tahun.2003.
- Mukti, W. (n.d.). Analisis Spektroskopi Uv-Vis “Penentuan Konsentrasi Permanganat (KMnO<sub>4</sub>)”. Jurusan Fisika, FMIPA Universitas Sebelas Maret Surakarta. p.1-5.
- Mori, M. T. dkk. 1994. *Solid State Ionics* 74, 157–164.
- Oksana, G. 2012. Zirconia nanopowders and technology of their production. [http://www.techprofiles.org/presentation/gorban\\_zirconia.pdf](http://www.techprofiles.org/presentation/gorban_zirconia.pdf). (Online). Diakses pada 2 Juli 2015.
- Oliveira, P.W., dkk. 1999. *MRS Symp. Proc.* 576, 421–426.
- Onggo, dkk. 2014. Peran Surfaktan dalam Inseri Multi-Walled Carbon Nanotubes (Mwcnt) ke dalam Nata-De-Coco. Prosiding Simposium Nasional Inovasi Pembelajaran dan Sains 2014 (SNIPS 2014).
- Periaswami, G., dkk. 1998. *Solid State Ionics* 26, 311–317.
- Pundisari, S, dkk. 2013. Pengaruh Konsentrasi Ion Sulfat (SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>) Terhadap Degradasi Zat Warna Methyl Orange Menggunakan Fotokatalis TiO<sub>2</sub> Zeolit. *Kimia Student Journal*, Vol. 1, No. 2, Pp. 236-242 Universitas Brawijaya Malang.
- Rainho, J. P., Rocha, J., Carlos, L. D and Almeida, R. M. 2001. 29 Si Nuclear-Magnetic-Resonance and Vibrational Spectroscopy Studies of SiO<sub>2</sub>-TiO<sub>2</sub> Powders Prepared by The Sol Gel Process. *Journal Material Research Society*.
- Riyani, dkk. 2012. Sintesis dan Karakterisasi Fotokatalis TiO<sub>2</sub>-Cu Aktif Sinar Tampak. Prosiding Seminar Nasional “Pengembangan Sumber Daya Pedesaan dan Kearifan Lokal Berkelanjutan II”.
- Saragi, E., dkk. 2010. Analisis Panas Steady State Pada Rancang Bangun Tungku Kalsinasi ZrO<sub>2</sub> Berbasis Metoda Elemen Hingga. Yogyakarta: Risalah Lokakarya Komputasi dalam Sains dan Teknologi Nuklir 2010.
- Setiawan, W. 2014. Zirconia di Indonesia. (Online), <https://naturalresourcesin.a.wordpress.com/2014/01/12/96/>, diakses 6 Juli 2015.
- Singh, L. P., dkk. (n.d). Preparation of Silica Nanoparticles and Its Beneficial Role in Cementitious Materials, *Nanomater Nanotechnol*, vol.1, No.1, 2011, pp.44-51.
- Stiadi, Y., dkk. (n.d). Pengaruh Surfaktan terhadap Pembentukan Komposit Polistiren/Silika. *Jurnal Kimia FMIPA Universitas Andalas*. p. 7-8.
- Suchorski, Y., dkk. 2008. Surface Chemistry of Zirconia Nanopowders Doped with Pr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>: an XPS Study. *ACTA PHYSICA POLONICA A*, Vol. 114.
- Sudjoko, dkk. 1996. Kesetimbangan Fasa pada Proses Pemurnian Logam Zirkonium. PPNY-BATAN Yogyakarta.