



MEMBRAN *Zirconia.titania* UNTUK PENGOLAHAN AIR LIMBAH: KAJIAN LITERATUR

Familia Novita Simanjuntak^{1*}, Ngia Masta²

¹Program Studi Pendidikan Kimia, FKIP, Universitas Kristen Indonesia

²Program Studi Pendidikan Fisika, FKIP, Universitas Kristen Indonesia

Diterima: 29 Maret 2021 Direvisi: 22 Mei 2021 Diterbitkan : 01 Juli 2021

ABSTRACT

The need for clean water is a necessity to sustain human life. This need will continue increasing in line with the human population growth, but it is not balanced by appropriate wastewater treatment to preserve the clean water stock. Zirconia and titania-based membrane technology is a promising technology in water and waste treatment processes because it is able to produce a good and stable quality of water against chemical reactions, high temperatures, and mechanical stress. This study aims to literature study-based analyze the capability of synthesis, characterization, and application of a membrane that combines zirconia and titania ($Zr_{1-x}Ti_xO_2$) with Al_2O_3 as a substrate for domestic wastewater treatment. The discussion describes the method of zirconia.titania membrane application to support its performance in domestic wastewater treatment.

Keywords: domestic wastewater treatment, zirconia.titania membrane.

PENDAHULUAN

Air mempunyai bermacam-macam kegunaan, yang masing-masing mempunyai level kemurnian yang berbeda, misalnya air bersih yang bisa digunakan untuk mencuci mesin, bisa beracun bagi ikan dan satwa liar atau air yang cocok untuk kapal atau perikanan, tidak cocok bagi berenang atau air yang aman untuk berenang, tidak dapat diminum (Alley, 2007). Pencemaran air di suatu negara mempengaruhi negara lain yang membutuhkan suatu pengendalian pencemaran internasional yang kompleks selama bertahun-tahun, oleh karena itu, ketersediaan air bersih di dalam sebuah negara menjadi salah satu komoditas politik

yang mempunyai kekuatan tawar-menawar (Cheremisinoff, 2001).

Kebutuhan akan air bersih merupakan suatu keniscayaan untuk mempertahankan hidup manusia. Kebutuhan ini, terutama kebutuhan air bersih skala rumah tangga, terus naik seiring dengan bertambahnya populasi manusia. Jika tidak diimbangi dengan proses pengolahan air dan limbah yang sesuai, maka akan terjadi kelangkaan air bersih dan pencemaran air yang tidak terkendali (Alley, 2007). Salah satu upaya pelestarian ketersediaan air bersih adalah mengolah air limbah domestik untuk meningkatkan kelas air sesuai dengan pemanfaatannya bagi aktivitas rumah tangga.

*Correspondence Address

E-mail: familia.simanjuntak@uki.ac.id

Air limbah domestik terbagi menjadi dua jenis, yaitu air limbah yang mengandung ekskreta (tinja dan urin) dan air limbah rumah tangga yang tidak mengandung ekskreta (air buangan kamar mandi, dapur, cucian pakaian, dan aktivitas rumah tangga lainnya). Air limbah rumah tangga mengandung kira-kira 99,9% air dan 0,1% zat padat. Zat padat yang ada tersebut terbagi atas 70% zat organik (protein, karbohidrat, lipid, lemak), dan sisanya 30% zat anorganik terutama pasir, garam-garam dan logam. Kandungan zat organik dan anorganik dalam limbah cair tergantung pada jumlah air yang digunakan. Pemakaian air yang sedikit akan menghasilkan air limbah yang lebih pekat. Hal ini juga tergantung pada banyaknya infiltrasi air tanah yang masuk ke dalam jaringan pipa (Chiras, 1985).

Proses pengolahan air dan limbah dengan menggunakan teknologi membran memiliki potensi yang besar. Teknologi membran merupakan salah satu teknologi yang menjanjikan karena dapat menghasilkan air dengan kualitas yang baik. Teknologi membran juga memiliki beberapa keunggulan, diantaranya dapat menyaring polutan air berupa senyawa-senyawa kimia yang berbahaya dan menghasilkan air dengan kualitas yang konstan. Studi mengenai membran sangat penting dalam pengolahan air dan limbah (Sagle & Freeman, 2004).

Membran didefinisikan sebagai suatu media berpori berbentuk seperti tabung atau film tipis, bersifat semi permeabel yang berfungsi untuk memisahkan partikel dengan ukuran molekular (spesi) dalam suatu sistem larutan. Membran berfungsi memisahkan material berdasarkan ukuran. Spesi yang memiliki ukuran yang lebih besar dari pori membran akan tertahan sedangkan spesi dengan ukuran yang lebih kecil dari pori membran akan lolos melalui pori membran. Permeabilitas adalah koefisien kemudahan suatu membran untuk dilewati oleh suatu spesi dan derajatnya dinyatakan dalam koefisien permeabilitas.

Pemilihan bahan keramik dalam pembuatan membran untuk pengolahan air dan limbah harus memperhatikan sifat fisik dan kimianya. Sifat fisik dan kimia yang diperhatikan, antara lain: kestabilan termal dan kimiawi, mikrostruktur (porositas dan ukuran pori-pori), *hidrophilicity*, dan kekuatan mekanis. Selain itu, aspek pembiayaan yang rendah juga perlu dipertimbangkan dalam mensintesis sebuah material. Material yang memenuhi kriteria fisik, kimia, dan ekonomis dalam pembuatan membran untuk pengolahan air dan limbah yang banyak diteliti saat ini diantaranya alumina, zirconia, titania, silika, dan zeolit (He *et al.*, 2019). Kelima bahan ini adalah kandidat umum sebagai membran keramik pengolahan air dan limbah, namun membran zirkonia dan titania lebih dikenal dengan

sifat mekanisnya yang kokoh dan awet (tidak mudah keropos).

Membran zirkonia memiliki sifat resistensi termal yang besar, sehingga membran ini tahan terhadap temperatur tinggi yang biasa terjadi dalam proses penguapan. Membran titania memiliki resistensi kimiawi yang paling besar sehingga dapat menjaga kestabilan strukturnya secara kimiawi, dan memiliki sifat resistansi termal yang paling besar (Al-Hamdi, Rinner, & Sillanpää, 2017). Dengan demikian, zirkonia dan titania adalah kandidat membran yang tepat digunakan untuk material filtrasi air dengan kekuatan mekanis dan resistensinya terhadap temperatur tinggi (Chang, Gopalan, & Lin, 1994). Berdasarkan uraian pernyataan tersebut, maka penelitian ini bertujuan untuk menganalisis berdasarkan studi literatur terhadap kemampuan sintesis, karakterisasi dan aplikasi membran perpaduan zirkonia dan titania untuk pengolahan air limbah rumah tangga.

KAJIAN LITERATUR

1. Karakteristik Air Limbah Domestik

Karakteristik air limbah domestik dipengaruhi oleh sifat fisik, sifat kimia, dan sifat biologis. Sifat fisik air limbah domestik ditentukan oleh kandungan zat padat, kekeruhan, bau, warna, temperatur, dan ukuran partikel. Sedangkan, kandungan kimia air limbah domestik diklasifikasikan

antara lain bahan organik (protein, karbohidrat, lemak), deterjen, fenol, bahan anorganik (garam-garam, logam-logam), logam berat, pH (Yudo, 2010; Widiyanto, Yuniarno, & Kuswanto, 2015).

Kandungan mikroorganisme dalam air limbah domestik mempengaruhi sifat biologisnya. Mikroorganisme dapat berasal dari udara, tanah, sampah, lumpur, tanaman, hewan, kotoran, dan bahan organik lainnya yang umumnya bersifat patogenik. Parameter yang biasa digunakan untuk karakteristik air limbah domestik antara lain *Biochemical Oxygen Demand* (BOD_5) yang menyatakan kebutuhan oksigen untuk mengurangi zat organik selama 5 hari, dan *Suspended Solids* (SS) yaitu padatan tersuspensi yang dinyatakan dalam mg per liter (Chiras, 1985).

Air limbah domestik yang mengandung tinja dan urin mempunyai karakteristik yang khas karena tinja dan urin tidak hanya menimbulkan bau yang dari segi estetika tidak baik, tetapi khususnya tinja mengandung virus, bakteri, kista protozoa, telur cacing, dan mikro organisme patogen lainnya yang dapat menyebabkan penyakit terhadap individu lain. Sehubungan dengan penyakit-penyakit yang ditularkan melalui tinja, organisme penyebab digolongkan dalam 4 kelompok (Said, & Marsidi, 2005; Waluya, 2005), yaitu :

- a. Virus (*Adenovirus, Enterovirus, Hepatitis A Virus, Reovirus, dan Rotavirus*)

- b. Bakteri (*Bacteriodes fragilus, fecal coliform, total coliform E. coli, faecal streptococci, dan enterococci, Salmonella typhii, Shigella spp, Vibrio cholerae*)
- c. Protozoa (*Balantidium coli, Entamoeba histolityca, Giardia lamblia*)
- d. Cacing (*Ancylostoma duodenale, Ascaris lumbricoides, Shcistosoma japonicum, Taenia saginata, Taenia solium, Trichuris Trichiura*)
- Isi, komposisi dan konsistensi dari tinja tergantung dari beberapa faktor yaitu diet, iklim, dan status kesehatan. Berat basah tinja individu berkisar antara antara 20 gr – 0,5 kg per hari. Komposisi kimiawi ekskreta disajikan dalam Tabel 1.

Tabel 1. Komposisi Kimiawi Ekskreta

Konstituen	Perkiraan Komposisi (% dari berat kering)	
	Tinja	Urin
Calcium (CaO)	4,5	4,5 – 6
Carbon	44 – 55	11 – 17
Nitrogen	5 – 7	15 – 19
Bahan Organik	88 – 97	65 – 85
Phosphorus (P ₂ O ₅)	3 – 5,4	2,5 - 5
Kalium Oksida (K ₂ O)	1 – 2,5	3 – 4,5

Kandungan urin dalam air limbah domestik juga memberikan efek patogenitas yang terdiri atas tiga infeksi utama yaitu: *schistosomiasis* saluran kemih, *typhoid*, dan *leptospirosis* (Sasongko, 2006; Rusydi, Naili, & Lestiana, 2015). Parameter yang digunakan adalah bakteri *coli fecal (faecal coliform)* yang dinyatakan jumlahnya setiap 100 ml. Jumlah bakteri *coli fecal* dalam air limbah domestik biasanya mencapai 10⁷ sampai dengan 10⁸ per 100 ml.

2. Membran Zirkonia

Membran zirkonia adalah salah satu dari lima membran keramik yang paling umum digunakan dalam pengolahan air dan limbah. Pada suhu ruangan, zirkonia memiliki struktur kristal monoklinik, namun pada

suhu yang lebih tinggi zirkonia akan bertransformasi menjadi struktur tetragonal dan kubik. Struktur kubik pada kristal merupakan struktur paling stabil (tidak mudah mengalami perubahan struktur secara kimia). Transformasi struktur yang dialami zirkonia ini mengakibatkan penambahan kekokohan dan awet penggunaannya (tidak mudah keropos). Sifat mekanis yang kuat ini membuat zirkonia dapat digunakan sebagai substrat yang baik (Schattka *et al.*, 2006; Kreiter *et al.*, 2008).

Diantara kelima kandidat membran keramik, zirkonia memiliki tingkat *hidrophylicity* yang tinggi. Tingkat *hidrophylicity* yang tinggi ditunjukkan oleh tingginya fluks dan rendahnya *fouling*

selama proses pengolahan air dan limbah berlangsung, sehingga molekul menjadi mudah untuk larut di dalam air. Zirkonia juga merupakan material dengan kestabilan termal yang tinggi, bahkan jika dibandingkan dengan alumina. Zirkonia sangat cocok untuk digunakan dalam pengolahan air pada fase *liquid* dengan kondisi yang sangat keras. Dengan semua kelebihan ini, zirkonia sesuai untuk digunakan pada lapisan teratas: *micro filtration* (MF), *ultra filtration* (UF), dan *nano filtration* (NF) untuk air dan limbah (Budnyak *et al.*, 2015).

Kelebihan membran zirkonia yang paling terkenal terdapat pada pemisahan minyak pada pengolahan air limbah. Pemisahan air dan minyak pada zirkonia ditunjukkan lebih baik dari pada alumina, dilihat dari nilai fluks air lebih tinggi dan jumlah *fouling* lebih rendah. *Fouling* adalah akumulasi zat yang tidak diinginkan pada permukaan benda padat (membran) yang dapat mengurangi fungsi membrane (Zhang *et al.*, 2015; Nair *et.al.*, 2018).

3. Membran Titania

Titania dikenal dalam bentuk tiga mineral yaitu rutil, anatase dan brookite (He *et al.*, 2019). Diantara material yang digunakan sebagai membran, titania memiliki kestabilan kimiawi yang paling baik. Membran titania dapat mencegah filtrasi dan oksidasi fotokatalitik yang terjadi secara bersamaan (Budnyak *et al.*, 2015; Arabi, Ghaedi, & Ostovan, 2017). Hal inilah yang

dimanfaatkan dalam pembuatan mineralisasi senyawa organik menggunakan irradiasi UV (Das *et al.*, 2012). Pada pengolahan air dan limbah, titania digunakan sebagai pendukung, lapisan *intermediate*, dan lapisan aktif untuk UF dan NF, serta menambah fungsi fotokatalisnya.

Akibat sifat fotokatalisnya, membran titania menyediakan kemampuan pengolahan air yang multifungsi. Morfologi yang dihasilkan dari membran titania adalah *nanowire*, yang menguntungkan dalam proses pengolahan air, karena memiliki tingkat permeabilitas yang tinggi, anti *fouling* dan anti bakteri (Belver *et al.*, 2016; Al-Hamdi, Rinner, & Sillanpää, 2017). Keunggulan ini tidak dimiliki oleh membran lainnya, misalnya alumina. Membran titania juga dapat digunakan untuk menghasilkan membran yang anti korosif, karena memiliki kestabilan kimiawi yang tinggi, jika dibandingkan dengan material membran lainnya. Kelemahan dari membran titania adalah memiliki luas permukaan yang rendah dan ketidakstabilan struktur anatase pada temperatur tinggi (Qin *et al.*, 2009; Al-Hamdi, Rinner, & Sillanpää, 2017).

METODE

Metode penulisan artikel adalah kajian literatur yang mencakup tahapan persiapan literatur dan menganalisis keterkaitan setiap literatur yang relevan untuk membahas fokus permasalahan yaitu air limbah domestik, dan

karakteristik membran *zirconia.titania*. berkaitan. Kajian literatur dilakukan terhadap Artikel ini melakukan analisis berdasarkan beberapa artikel terkait antara lain disajikan kajian literatur yang relevan dan saling dalam Tabel 2.

Tabel 2. Artikel Ilmiah yang terlibat dalam Kajian Literatur

Batas Kajian	Penulis (Tahun Publikasi)	Bahasa Publikasi	Lokus dan Hasil Penelitian
Karateristik air limbah domestik	Rusydi, Nailly, & Lestiana (2015)	Bahasa Indonesia	Lokasi di Bandung. Artikel membahas tentang kualitas air tanah bebas yang dipengaruhi oleh komposisi dan pergerakan pencemar yang berasal dari air limbah domestik.
	Said, & Marsidi (2005)	Bahasa Indonesia	Lokasi di Jakarta, Artikel menjelaskan tentang mikroba patogen dan parasit yang terdapat dalam air limbah domestik, serta merekomendasikan pengolahan air limbah domestik secara semi komunal dengan biofilter anaerob-aerob.
	Waluya (2005)	Bahasa Indonesia	Lokasi di Kota Malang dan Laboratorium Mikrobiologi UMM. Artikel membahas tentang penggunaan mikroba pengurai untuk indikator pencemar air limbah domestik (tinja) dan menyatakan bahwa populasi mikroba pengurai dipengaruhi oleh komposisi koliform yang berasal dari tinja.
	Widiyanto, Yuniarno, & Kuswanto (2015)	Bahasa Indonesia	Lokasi di Kelurahan Kalikabong Kabupaten Purbalingga. Artikel membahas tentang sumber pencemar air dan menemukannya bahwa penyebab polusi air berasal dari limbah industri (33,33%), limbah rumah tangga (47,62%), dan limbah perkotaan (19,04%).
	Yudo (2010)	Bahasa Indonesia	Lokasi di DKI Jakarta dan artikel membahas tentang parameter pencemar air dalam aliran Sungai Ciliwung yang masuk ke 13 sungai. Temuan menyatakan bahwa konsentrasi pencemar air terus meningkat.
Membran Zirkonia	Budnyak, T. M., Pylypchuk, I. V., Tertykh, V. A., Yanovska, E. S. & Kolodynska, D. (2015)	Bahasa Inggris	Lokasi penelitian di Ukraina. Artikel membahas tentang sifat sintesis dan adsorpsi nanokomposit kitosan-silika menggunakan metode sol-gel. Hasil penelitian menyatakan bahwa kapasitas adsorpsi kitosan biopolimer dan sintesis melalui reaksi sol-gel komposit kitosan-silika menunjukkan kapasitas adsorpsi yang lebih baik. Polimer dalam komposisi komposit memudahkan peningkatan sifat adsorpsi dan karakteristik kinetik. Komposit hasil sintesis dapat mengekstraksi ion logam.
	Kreiter, R., Rietkerk, M. D., Bonekamp, B. C., van Veen, H. M., Kessler, V. G., & Vente, J. F. (2008)	Bahasa Inggris	Lokasi penelitian di Belanda. Artikel membahas tentang jalur sol-gel untuk zirkonia mikro dan membran titania. Hasil penelitian menyatakan bahwa membran zirkonia dan titania dengan pori-pori sub-nanometer dapat dibuat dengan memilih resep sol-gel yang sesuai. Membran zirkonia dan titania berpotensi sesuai untuk aplikasi pemisahan gas.
	Nair, K. K., Kumar, P., Kumar, V.,	Bahasa	Lokasi penelitian di Afrika. Artikel membahas tentang sintesis dan evaluasi sifat optik dan antimikroba

	Harris, R. A., Kroon, R. E., Viljoen, B., ... & Swart, H. C. (2018)	Inggris	nanokomposit Ag-SnO ₂ . Hasil penelitian menyatakan bahwa struktur nano dapat digunakan untuk pengelolaan biorasional E.coli untuk pengolahan air limbah sebelum dibuang.
	Schatka, J. H., Wong, E. H. M., Antonietti, M., & Caruso, R. A. (2006)	Bahasa Inggris	Lokasi penelitian di Universitas Melbourne, Australia. Artikel membahas tentang teknik pelapisan untuk menghasilkan variasi jenis prekursor oksida logam, salah satunya menggunakan pendekatan 'pelapisan sekuensial' yang menghasilkan bahan terstruktur kompleks dari oksida logam berlapis, seperti TiO ₂ (titania) dan ZrO ₂ (zirkonia).
	Zhang, W., Liu, N., Cao, Y., Lin, X., Liu, Y., & Feng, L. (2015)	Bahasa Inggris	Kajian literatur tentang pengolahan air limbah yang berminyak dan menyatakan bahwa terdapat dua jenis bahan berpori pembasahan super untuk pemisahan campuran minyak/air yang tidak bercampur dan pemisahan emulsi yaitu (1) bahan berpori pemblokiran air dengan keterbasahan super hidrofobik/super oleofilik; dan (2) bahan berpori pemblokiran minyak dengan pembasahan super oleofobik super hidrofilik/bawah air.
Membran Titania	Al-Hamdi, Rinner, & Sillanpää (2017)	Bahasa Inggris	Lokasi penelitian di Finlandia. Artikel membahas tentang timah dioksida sebagai fotokatalis untuk pengolahan air. Kajian menyatakan bahwa semi konduktor, seperti SnO ₂ , sangat cocok untuk polutan dalam air limbah dan sumber lainnya. Setelah iradiasi dengan cahaya dengan energi yang sesuai, radikal reaktif dihasilkan di permukaan fotokatalis, yang secara oksidatif menghancurkan banyak polutan yang diketahui menyebabkan masalah pada lingkungan dan kesehatan. Penambahan dopan ke SnO ₂ meningkatkan sifat fotokatalitik, mengurangi celah pita, sehingga menurunkan energi yang dibutuhkan untuk aktivasi katalis. Meskipun katalis sangat sesuai untuk degradasi polutan organik, cara yang efisien untuk meregenerasi nanokomposit ini harus dikembangkan untuk mencegah bahan yang sangat aktif ini lepas ke lingkungan dalam skala besar yang memiliki efek negatif pada kesehatan manusia. Selain itu, studi harus mencakup katalis yang berbeda untuk menilai material nano mana yang paling cocok untuk degradasi polutan tertentu.
	Arabi, Ghaedi, & Ostovan (2017)	Bahasa Inggris	Lokasi penelitian di Iran. Artikel membahas tentang cetakan nanopartikel molekuler yang kompatibel dengan air sebagai membran untuk ekstraksi asam hipurat, indikator biologis paparan toluena, dari urin manusia. Hasil penelitian menyatakan bahwa membran RAM-MINP yang kompatibel dengan air hidrofilik berhasil secara efisien mengekstraksi asam hipurat (HA) dan diikuti dengan optimalisasi prosedur dengan metodologi permukaan respons. Metode menggunakan membran RAM-MINP-SPE sederhana, hemat biaya, dan mudah dioperasikan, sehingga cukup akurat dan tepat untuk menganalisis HA dalam sampel urin.
	Belver, C., Bedia, J., Álvarez-Montero, M. A. & Rodriguez, J. J.	Bahasa Inggris	Lokasi penelitian di Spanyol. Artikel membahas tentang pemurnian air fotokatalitik matahari dengan heterostruktur TiO ₂ /tanah liat yang didoping Ce. Hasil penelitian menyatakan bahwa Ce doping dialokasikan ke

	(2016)		dalam kisi TiO ₂ menyebabkan pengurangan ukuran kristal anatase, dengan meningkatnya kandungan Ce. Doping Ce juga menghasilkan bahan dengan tepi serapan cahaya di wilayah yang terlihat, yang celah pita tergantung pada jumlah Ce. Aktivitas fotokatalitik dari heterostruktur TiO ₂ dipengaruhi oleh kandungan serium.
	Das, S. K., Khan, M. M. R., Guha, A. K., Das, A. R. & Mandal, A. B. (2012)	Bahasa Inggris	Lokasi penelitian di India. Artikel membahas tentang sintesis, karakterisasi, dan aplikasi dalam pemurnian air menggunakan biohybride perak-nano yang disebut sebagai nano-silver bioconjugate (NSBC). Hasil penelitian menyatakan bahwa karakterisasi yang menggunakan NSBC menunjukkan aktivitas antibakteri yang kuat terhadap E. coli dan B. subtilis dan kapasitas adsorpsi yang tinggi terhadap berbagai pestisida organofosfat. Ikatan dinding sel bakteri dengan NSBC menyebabkan kerusakan membran permanen yang berujung pada kematian sel. Analisis proteomik lebih lanjut menunjukkan penurunan regulasi ekspresi protein, penghambatan protein sitosol dan membran dan kebocoran konten seluler setelah pengikatan NSBC dengan dinding sel bakteri. Sehingga, NSBC layak diajukan sebagai aplikasi untuk mendapatkan air minum yang bebas dari patogen dan pestisida dalam satu langkah proses.
	He, Z., Lyu, Z., Gu, Q., Zhang, L. & Wang, J. (2019)	Bahasa Inggris	Lokasi penelitian di Singapura. Artikel membahas tentang membran berbasis keramik untuk pengolahan air dan air limbah. Hasil penelitian menyatakan bahwa membran keramik memiliki stabilitas tinggi, masa pakai yang lama, fluks tinggi, dan pengotoran rendah. Lebih lanjut, membran keramik tipe komposit menunjukkan kinerja yang sangat baik dengan dukungan fabrikasi yang penting dalam penentuan struktur, sifat, dan kinerjanya.
	Qin, Y., Hu, Y., Koehler, S., Cai, L., Wen, J., Tan, X., ... & Yu, M. (2009)	Bahasa Inggris	Lokasi penelitian di Cina. Artikel membahas tentang teknik pengecoran inversi fase in-situ area luas untuk membuat membran grafir berlubang berlapis tunggal berukuran 63 cm ² untuk nanofiltrasi ultra cepat yang dapat beroperasi pada tekanan hingga 50 bar. Hasil penelitian menyatakan bahwa teknik tersebut layak diajukan untuk membuat grafir berlapis tunggal yang luas, berkualitas tinggi, dan berpotensi digunakan sebagai membran nanofiltrasi bertekanan.
Literatur pendukung	Chang, C. H., Gopalan, R., & Lin, Y. S. (1994)	Bahasa Inggris	Lokasi penelitian di Ohio, Amerika Serikat. Artikel membahas tentang perbandingan stabilitas termal dan hidrotermal membran alumina, titania dan zirkonia. Hasil penelitian menyatakan bahwa luas permukaan pori dan volume menurun dalam urutan: alumina > titania > zirkonia. Ukuran pori rata-rata dari ketiga membran keramik ini bervariasi dalam urutan yang berlawanan. Kisaran suhu untuk transformasi ketiga membran keramik ini dari fase metastabil ke fase stabil menurun dalam urutan: alumina > zirkonia > titania, konsisten dengan urutan energi aktivasi untuk transformasi fase dan perbedaan struktur fase antara fase metastabil fase dan fase stabil dari ketiga membran keramik ini. Uap memiliki efek yang lebih kecil dalam peningkatan transformasi fasa dan perubahan struktur membran

alumina, tetapi lebih besar meningkatkan transformasi membran zirkonia dan titania.

Sagle, A., & Bahasa
Freeman, B. (2004) Inggris

Lokasi penelitian di Dinas Riset Naval. Artikel membahas tentang teknik pengolahan air menggunakan membran mikrofiltrasi (MF), ultrafiltrasi (UF), reverse osmosis (RO), dan nanofiltrasi (NF). Artikel menyatakan bahwa teknik pengolahan air menggunakan membran mempunyai peluang pengembangan yang baik terutama untuk pemurnian air laut menjadi air konsumsi.

PEMBAHASAN

1. Metode Sol-gel Membran Zirconia.titania

Kreiter *et al.* (2008) menyatakan bahwa pada tahap persiapan, metode sol-gel menggunakan Zirconium propoxida dan Titanium (IV) isopropoxida sebagai prekursor untuk membran $(Zr_{1-x}Ti_x)O_2$. Prekursor diaduk dengan asam asetat, pelarut aseton, aquades dan bahan aditif menggunakan *magnetic stirrer hot plate*. Larutan membran kemudian di-*coating* pada substrat pori (Al_2O_3) menggunakan metode *dip coated* dan dilanjutkan dengan proses *drying* untuk menghasilkan fase *gel* serta selanjutnya melakukan tahap sintering.

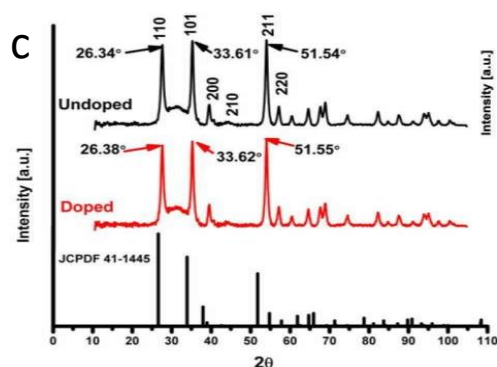
Lebih lanjut, sampel air limbah dianalisa menggunakan *X-ray diffractometer* (XRD) Rigaku D/max-III menggunakan radiasi Cu-K α dengan sudut 2θ pada rentang $5 - 80^\circ$ pada kecepatan pemindaian $2^\circ/\text{menit}$ dan ukuran rentang $0,02^\circ C$. Rietveld *refinement* dilakukan menggunakan *software Xpert Highscore Plus* (Kreiter *et al.*, 2008). Sejalan dengan pernyataan Kreiter *et al.* (2008), Schattka *et al.* (2006) menyarankan

uji XRD untuk mengetahui struktur kristal, parameter kisi, ukuran kristalit, posisi atom dan bilangan oksidasi masing-masing atom penyusun. Komposisi dan konsentrasi unsur yang terdapat pada sampe diuji menggunakan X-ray Fluoresence (XRF).

Morfologi sampel diobservasi menggunakan *Scanning Electron Microscopy* (SEM). Sebelum dilakukan uji SEM, permukaan sampel dilakukan proses *coating* terlebih dahulu untuk meningkatkan hasil pemindaian dan mengurangi kerusakan termal. Absorpsi dan reduksi sinar UV pada sampel dievaluasi menggunakan UV-Vis Spektrometer. Uji fluks air digunakan untuk mengukur permeabilitas. Sampel membran ditempatkan dalam sel ultrafiltrasi sistem *dead end*. Pengukuran fluks membran dilakukan melalui pengukuran volume *permeate* (Schattka *et al.*, 2006; Kreiter *et al.*, 2008).

Sintesis material membran perpaduan zirconia dan titania $(Zr_{1-x}Ti_x)O_2$ dengan substrat Al_2O_3 dengan menggunakan metode sol-gel. Sampel dikarakterisasi menggunakan metode *X-ray Diffraction*

(XRD) dan *Scanning Electron Microscope* (SEM). *X-ray Diffraction Pattern* mengkonfirmasi material berstruktur tetragonal, dan menunjukkan sejumlah puncak yang mengindikasikan sampel ini adalah material polikristalin. Struktur tetragonal ditunjukkan oleh bidang (211), (101), dan (110) dengan intensitas tertinggi pada $26,38^{\circ}$, $33,62^{\circ}$, dan $51,55^{\circ}$. Membran titania memiliki resistensi kimiawi yang paling besar sehingga dapat menjaga kestabilan strukturnya secara kimiawi, dan memiliki sifat resistansi termal yang paling besar (Al-Hamdi, Rinner, & Sillanpää, 2017), dan membran zirkonia merupakan material dengan kestabilan termal yang tinggi sehingga sesuai untuk digunakan pada lapisan teratas: *micro filtration* (MF), *ultra filtration* (UF), dan *nano filtration* (NF) untuk air dan limbah (Budnyak *et al.*, 2015), dengan demikian tidak akan terjadi fase tambahan yang diobservasi setelah dilakukan doping substrat Al_2O_3 seperti yang disajikan dalam Gambar 1.

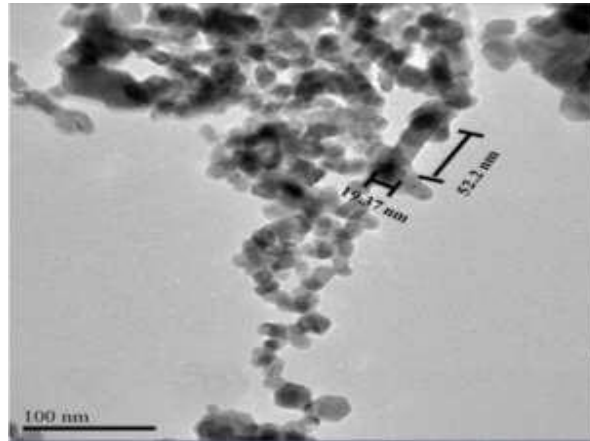


Gambar 1. Hasil X-ray Diffraction (XRD) Pattern

Proses berlanjut ke pemindaian sampel menggunakan SEM dilakukan untuk melakukan karakterisasi mikrostruktur (Schattka *et al.*, 2006; Kreiter *et al.*, 2008). Analisis image SEM akan menunjukkan telah terbentuknya grain dengan grain boundary yang terlihat jelas seperti yang disajikan dalam Gambar 2. Bidang tetragonal kembali terkonfirmasi dari morfologi grain. Grain memiliki bentuk yang seragam, dengan bentuk seperti butiran memanjang (Budnyak *et al.*, 2015).

Material yang dihasilkan dari pemindaian sampel merupakan material poros, dengan porositas terdistribusi acak pada sampel. Kesuaian hasil karakterisasi XRD dan SEM mengkonfirmasi kisi d yang sesuai dengan Zr dan Ti pada nanostruktur. Gambar 2. terjadi karena membran titania dapat mencegah filtrasi dan oksidasi fotokatalitik yang terjadi secara bersamaan (Budnyak *et al.*, 2015; Arabi, Ghaedi, & Ostovan, 2017), sehingga dapat dilanjutkan dengan pembuatan mineralisasi senyawa

organis menggunakan irradiasi UV (Das *et al.*, 2012), dimana titania berperan sebagai pendukung, lapisan *intermediate*, dan lapisan aktif untuk UF dan NF, serta menambah fungsi fotokatalisnya.



Gambar 2. Hasil *Scanning Electron Microscope* (SEM)

Material keramik berbasis aluminium untuk fabrikasi membran sangat menentukan fungsi dan performansi dari membran ini sendiri. Pemilihan material keramik berbasis alumina disesuaikan dengan sifat fisis dan kimiawinya, diantaranya hidrofilitas dan morfologinya (terutama distribusi poros dan ukuran poros), kestabilan kimiawi, kekuatan mekanis. Substrat alumina adalah salah satu jenis membran keramik yang memiliki harga yang relatif murah dan potensial digunakan untuk pengolahan air limbah (*wastewater treatment*). Membran alumina ini dapat digunakan untuk micro filtration (mF), ultra filtration (UF) dan nano filtration (NF). Material keramik berbasis alumina memenuhi kriteria fisik, kimia, dan ekonomis dalam pembuatan membran untuk pengolahan air dan limbah (He *et al.*, 2019).

2. Kinerja Membran dalam Pengolahan Air Limbah Domestik

Kinerja membran *zirconia.titania*, berdasarkan karakteristiknya, dalam pengolahan air limbah dapat mengurangi kandungan BOD₅ (Chiras, 1985), partikel tercampur (Yudo, 2010), serta membunuh organisme patogen yang terkandung dalam limbah cair (Widiyanto, Yuniarno, & Kuswanto, 2015). Selain itu, kinerja membran dalam pengolahan air limbah juga dapat menurunkan (menghilangkan) konsentrasi nutrisi, komponen beracun, dan bahan-bahan lain yang tidak dapat didegradasikan (Sasongko, 2006; Rusydi, Naili, & Lestiana, 2015). Kinerja tersebut terjadi melalui proses sintesis membran (Zr_{1-x}Ti_x)O₂ pada substrat Al₂O₃ yang dilanjutkan dengan karakterisasi menggunakan *X-ray diffractometer* (XRD) Rigaku D/max-III

menggunakan radiasi Cu-K α dengan sudut 2θ pada rentang $5 - 80^\circ$ pada kecepatan pemindaian $2^\circ/\text{menit}$ dan ukuran rentang $0,02^\circ\text{C}$. Rietveld *refinement* dilakukan menggunakan *software Xpert Highscore Plus* (Schattka *et al.*, 2006; Kreiter *et al.*, 2008).

Sintesis membran $(\text{Zr}_{1-x}\text{Ti}_x)\text{O}_2$ pada substrat Al_2O_3 menggunakan metode sol-gel dengan dukungan Zirconium propoxida dan Titanium (IV) isopropoxida sebagai prekursor. Komposisi dan konsentrasi unsur yang terdapat pada sampel yang dikarakterisasi, kemudian diuji menggunakan X-ray Fluoresence (XRF). Morfologi sampel diobservasi menggunakan *Scanning Electron Microscopy* (SEM), yang sebelumnya telah dilakukan proses *coating* untuk meningkatkan hasil pemindaian dan mengurangi kerusakan termal. Absorpsi dan reduksi sinar UV pada sampel dievaluasi menggunakan UV-Vis Spektrometer. Uji fluks air digunakan untuk mengukur permeabilitas. Sampel membran ditempatkan dalam sel ultrafiltrasi sistem *dead end*. Pengukuran fluks membran dilakukan melalui pengukuran volume *permeate* (Belver *et al.*, 2016; Al-Hamdi, Rinner, & Sillanpää, 2017).

Kelemahan membran titania yang dinyatakan oleh Qin *et al.* (2009) dan Al-Hamdi, Rinner, & Sillanpää (2017) dalam pengolahan air limbah, khususnya dalam proses pengurangan BOD₅ dan penurunan

konsentrasi bahan bersifat patogen, dapat diatasi dengan metode tambahan yang mendukung kinerja membran zirconia.titania. Metode tambahan tersebut menjadi fokus penelitian lanjutan supaya kinerja membran menjadi lebih maksimal dalam pengolahan air limbah domestik.

KESIMPULAN

Membran *zirconia.titania* merupakan kandidat membran yang tepat digunakan untuk material filtrasi air dengan kekuatan mekanis dan resistensinya terhadap temperatur tinggi dalam pengolahan air limbah domestik. Kinerja yang dihasilkan antara lain dapat mengurangi kandungan BOD₅, partikel tercampur, membunuh organisme patogen yang terkandung dalam limbah cair, sekaligus menurunkan (menghilangkan) konsentrasi nutrisi, komponen beracun, dan bahan-bahan lain yang tidak dapat didegradasikan.

Material filtrasi air dalam pengolahan air limbah domestik harus memperhatikan sifat fisik dan kimianya, mencakup kestabilan termal dan kimiawi, mikrostruktur (porositas dan ukuran pori-pori), *hidrophilicity*, dan kekuatan mekanis, namun juga perlu mempertimbangkan aspek pembiayaan yang rendah. Membran *zirconia.titania* membutuhkan pembiayaan yang relatif lebih rendah dalam mensintesis sebuah material.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kepada Kementerian Riset dan Pendidikan Tinggi yang telah membiayai penelitian ini melalui hibah Simlitabmas tahun 2019 dengan skema Penelitian Dosen Pemula. Terima kasih juga kepada Lembaga Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat (LPPM), Universitas Kristen Indonesia, yang telah memfasilitasi proses administrasi sejak saat proses penyusunan proposal sampai dengan tahap pelaporan final. Terakhir, terima kasih kepada Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan, Universitas Kristen Indonesia, yang terus dan selalu mendorong kolaborasi penelitian antar program studi.

DAFTAR PUSTAKA

- Al-Hamdi, A. M., Rinner, U. & Sillanpää, M. (2017). Tin dioxide as a photocatalyst for water treatment: A review. *Process Saf. Environ. Prot.* 107, 190–205.
- Alley, E. R. (2007). *Water quality control handbook* (Vol. 2). New York: McGraw-Hill.
- Arabi, M., Ghaedi, M. & Ostovan, A. (2017). Water compatible molecularly imprinted nanoparticles as a restricted access material for extraction of hippuric acid, a biological indicator of toluene exposure, from human urine. *Microchim. Acta* 184, 879–887.
- Belver, C., Bedia, J., Álvarez-Montero, M. A. & Rodriguez, J. J. (2016). Solar photocatalytic purification of water with Ce-doped TiO₂/clay heterostructures. *Catal. Today* 266, 36–45.
- Budnyak, T. M., Pylypchuk, I. V., Tertykh, V. A., Yanovska, E. S. & Kolodynska, D. (2015). Synthesis and adsorption properties of chitosan-silica nanocomposite prepared by sol-gel method. *Nanoscale Res. Lett.* 10, 1–10.
- Chang, C. H., Gopalan, R., & Lin, Y. S. (1994). A comparative study on thermal and hydrothermal stability of alumina, titania and zirconia membranes. *Journal of Membrane Science*, 91(1-2), 27-45.
- Cheremisinoff, N. P. (2001). *Handbook of water and wastewater treatment technologies*. Butterworth-Heinemann.
- Chiras, D. 1985. *Environmental Science, A Framework for Decision Making*. The Benjamin / Cummings Publishing Company, Inc., Canada.
- Das, S. K., Khan, M. M. R., Guha, A. K., Das, A. R. & Mandal, A. B. (2012). Silver-nano biohybride material: Synthesis, characterization and application in water purification. *Bioresour. Technol.* 124, 495–499.
- He, Z., Lyu, Z., Gu, Q., Zhang, L. & Wang, J. (2019). Ceramic-based membranes for water and wastewater treatment.

- Colloids Surfaces A Physicochem. Eng. Asp. 578, 123513.
- Kreiter, R., Rietkerk, M. D., Bonekamp, B. C., van Veen, H. M., Kessler, V. G., & Vente, J. F. (2008). Sol-gel routes for microporous zirconia and titania membranes. *Journal of sol-gel science and technology*, 48(1-2), 203-211.
- Nair, K. K., Kumar, P., Kumar, V., Harris, R. A., Kroon, R. E., Viljoen, B., ... & Swart, H. C. (2018). Synthesis and evaluation of optical and antimicrobial properties of Ag-SnO₂ nanocomposites. *Physica B: Condensed Matter*, 535, 338-343.
- Qin, Y., Hu, Y., Koehler, S., Cai, L., Wen, J., Tan, X., ... & Yu, M. (2017). Ultrafast nanofiltration through large-area single-layered graphene membranes. *ACS Applied Materials & Interfaces*, 9(11), 9239-9244.
- Rusydi, A. F., Nailly, W., & Lestiana, H. (2015). Pencemaran limbah domestik dan pertanian terhadap airtanah bebas di kabupaten Bandung. *RISSET Geologi dan Pertambangan*, 25(2), 87-97.
- Said, N. I., & Marsidi, R. (2005). Mikroorganisme Patogen Dan Parasit Di Dalam Air Limbah Domestik Serta Alternatif Teknologi Pengolahan. *Jurnal Air Indonesia*, 1(1).
- Sagle, A., & Freeman, B. (2004). Fundamentals of membranes for water treatment. *The future of desalination in Texas*, 2(363), 137.
- Sasongko, L. A. (2006). *Kontribusi Air Limbah Domestik Penduduk Di Sekitar Sungai Tuk Terhadap Kualitas Air Sungai Kaligarang Serta Upaya Penanganannya (Studi Kasus Kelurahan Sampangan dan Bendan Ngisor Kecamatan Gajah Mungkur Kota Semarang)* (Doctoral dissertation, Program Pascasarjana Universitas Diponegoro).
- Schattka, J. H., Wong, E. H. M., Antonietti, M., & Caruso, R. A. (2006). Sol-gel templating of membranes to form thick, porous titania, titania/zirconia and titania/silica films. *Journal of Materials Chemistry*, 16(15), 1414-1420.
- Waluya, L. (2005). Bioremediasi Limbah Domestik Ramah Lingkungan Di Kota Malang: Suatu Upaya Mengatasi Pencemaran Kawasan Padat Huni. *Jurnal Gamma*, 1(1).
- Widiyanto, A. F., Yuniarno, S., & Kuswanto, K. (2015). Polusi air tanah akibat limbah industri dan limbah rumah tangga. *KEMAS: Jurnal Kesehatan Masyarakat*, 10(2), 246-254.
- Yudo, S. (2010). Kondisi Kualitas Air Sungai Ciliwung Di Wilayah Dki Jakarta Ditinjau Dari Paramater

Organik, Amoniak, Fosfat, Deterjen
Dan Bakteri Coli. *Jurnal Air
Indonesia*, 6(1).

Zhang, W., Liu, N., Cao, Y., Lin, X., Liu, Y.,
& Feng, L. (2017). Superwetting
porous materials for wastewater
treatment: from immiscible oil/water
mixture to emulsion
separation. *Advanced Materials
Interfaces*, 4(10), 1600029.

