

# PEMBUATAN MEMBRAN KERAMIK BERBAHAN DASAR ABU LAYANG BATU BARA DAN MINERAL DOLOMIT DENGAN METODE CO-SINTERING

F. W. Mahatmanti<sup>1</sup>, Jumaeri<sup>1</sup>, W. Aprilianti<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Jurusan Kimia, FMIPA, Universitas Negeri Semarang

email: fwidhi\_kimia@mail.unnes.ac.id

## Abstrak

Abstrak pada Bab ini menyajikan tentang pembuatan membran keramik berbahan dasar abu layang dan mineral dolomit dengan metode Coating Sintering (Co-sintering). Membran keramik anorganik atau yang biasa disebut membran keramik merupakan yang lebih unggul dibandingkan dengan membran organik karena memiliki keuntungan pada stabilitas kimia dan termal yang sangat baik serta resistensi tekanan yang kuat. Abu layang yang dihasilkan oleh PLTU Rembang berkisar 80–90% dari total abu seluruhnya yang tersusun atas oksida-oksida dari senyawa anorganik, antara lain  $\text{SiO}_2$  46,60%,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  24,40%,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  9,40%,  $\text{K}_2\text{O}$  1,62%. Komponen utama kimia abu layang yaitu silika dan alumina mirip dengan lempung dan kaolin, yang digunakan sebagai bahan awal untuk membuat membran keramik berpori. Pembuatan membran keramik dari abu layang batubara dengan *coating* dolomit berhasil disintesis. Penambahan dolomit 30% mengakibatkan membran keramik menjadi semakin berpori yang ditandai dengan meningkatnya porositas dari 54,77% menjadi 65,56%, namun tidak terjadi perubahan permeabilitas terhadap air secara signifikan. Penambahan dolomit 30% mengakibatkan rata-rata ukuran pori menurun. Penambahan dolomit 30% meningkatkan kestabilan termal secara signifikan

Kata kunci: abu layang, Co-sintering, dolomit, keramik, termal

## A. PENDAHULUAN

Membran keramik anorganik atau yang biasa disebut membran keramik telah banyak digunakan di berbagai bidang industri. Teknologi membran keramik menjadi pilihan yang sangat kompetitif karena memiliki keuntungan pada stabilitas kimia dan termal yang sangat baik serta memiliki resistensi tekanan yang kuat dibandingkan membran organik (Abadi, dkk., 2011). Teknologi membran keramik berpori memainkan peran penting dalam bidang pemisahan lingkungan seperti pada pengolahan air limbah (Samaei, dkk., 2018) dan filtrasi gas buang suhu tinggi (Daglar dan Keskin, 2018). Namun, pengaplikasian membran keramik sangat dibatasi oleh biaya produksi yang tinggi dari bahan awal sampai proses *sintering* (Dong, dkk., 2009). Dalam beberapa tahun terakhir, banyak peneliti telah berfokus pada pengembangan model baru membran anorganik, seperti membran karbon (Song et al, 2006), membran zeolit (Cui, dkk., 2008) dan membran keramik berbasis mineral alami telah berhasil dilakukan Khemakhem, dkk., 2007; Palacio, dkk., 2009; dan Fang, dkk., 2011. Abu layang merupakan produk samping dalam skala besar dari pembakaran batubara dan dianggap sangat berbahaya karena elemen jejaknya yang beracun. Abu layang umumnya dibuang sebagai *landfill* atau ditumpuk begitu saja di dalam area industri dan sebagian digunakan kembali sebagai campuran bahan bangunan. Penumpukkan abu layang batubara ini terakumulasi di lokasi tersebut dalam jumlah yang sangat banyak sehingga menimbulkan masalah bagi lingkungan. Selain itu, tingkat produksi abu layang lebih besar daripada tingkat konsumsinya. Abu layang yang dihasilkan oleh PLTU Rembang berkisar 80–90% dari total abu seluruhnya yang tersusun atas oksida-oksida dari senyawa anorganik, antara lain  $\text{SiO}_2$  46,60%,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  24,40%,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  9,40%,  $\text{K}_2\text{O}$  1,62% (Data kualitas FABA PLTU Rembang, 2018).

Komponen utama kimia abu layang yaitu silika dan alumina mirip dengan lempung dan kaolin, yang digunakan sebagai bahan

awal untuk membuat membran keramik berpori (Harabi, dkk., 2014). Oleh karena itu, abu layang dianggap sebagai bahan potensial untuk diterapkan dalam menyiapkan membran keramik. Produksi abu layang di Indonesia mencapai 5,4 juta ton/tahun, sehingga aplikasi abu layang yang lebih luas perlu lebih jauh dikembangkan untuk memanfaatkan sumber daya limbah padat dengan lebih baik. Abu layang sebagai bahan dasar pembuatan membrane telah terbukti sangat efektif untuk banyak proses pemisahan, termasuk pemurnian air dan udara, pemulihan sumber daya, pada industri makanan, lingkungan dan industri lainnya (Fung dan Wang, 2013). Abu layang dapat digunakan sebagai bahan keramik seperti *mullite* (Jung, dkk., 2001), *cordierite* (Goren, dkk., 2006) dan *anorthite* (Little, dkk., 2008). Selain itu, membran keramik berpori telah banyak diaplikasikan dari bahan baku anorganik seperti *chamotte* oleh Ayza, dkk., (2015), bahan tanah liat seperti yang telah dilakukan Harabi, dkk., (2009), Bouzerara, dkk., (2012) dan Ghouil, dkk., (2015), bahan pasir kuarsa oleh Foughali, dkk., (2015) dan bahan kaolin seperti yang telah dilakukan Bouzerara, dkk., (2009), Harabi, dkk., (2014) dan Bouzerara, dkk., (2015). Semua bahan tersebut memiliki komponen yang mirip dengan abu layang. Dalam penelitian sebelumnya, abu layang batubara digunakan sebagai bahan baku untuk membuat *mullite* ( $3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$ ) yang dilakukan oleh Cao, dkk., (2014) dan Zhu, dkk., (2015), *cordierite* ( $2\text{MgO} \cdot 2\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{SiO}_2$ ) yang dilakukan oleh Dong, dkk., (2006) dan *anorthite* ( $\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$ ) yang dilakukan oleh Liu, dkk., (2016). Penelitian tersebut berfokus pada sifat fisik membran keramik melalui pengontrolan kumpulan fase dan struktur pori. Sedangkan sifat rapuh dari serat membran keramik menghambat produksi dan aplikasi berskala besar (Fung dan Wang, 2014).

Pada Bab ini akan membahas sintesis membran keramik berbahan dasar abu layang dengan penambahan dolomit sebagai pembentuk pori pada membran keramik yang dihasilkan menggunakan metode Co-sintering. Dolomit ( $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ ) adalah mineral alami dengan cadangan melimpah di seluruh dunia termasuk Indonesia. Dekomposisi

termal dolomit mengikuti dua tahap:  $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$  pertama kali terurai menjadi  $\text{CaCO}_3$ ,  $\text{MgO}$  dan  $\text{CO}_2$  yang kemudian  $\text{CaCO}_3$  dikonversi menjadi  $\text{CaO}$  dan  $\text{CO}_2$  (Sasaki, dkk., 2013). Campuran  $\text{MgO}$  dan  $\text{CaO}$ , yaitu doloma, biasanya diperoleh ketika dolomit dikalsinasi di atas  $900^\circ\text{C}$ . Dengan demikian, penambahan dolomit diharapkan tidak hanya untuk menyesuaikan struktur pori dan menghambat suhu *sintering* abu layang dengan dolomit yang dihasilkan, tetapi juga untuk membentuk fase kaya Ca dan Mg pada bahan pendukung membran.

Dolomit ditambahkan ke abu layang untuk membuat dukungan membran keramik berpori dengan tujuan meningkatkan porositas dan permeabilitas serta memberikan kekuatan lentur biaksial pada membran (Liu, dkk., 2016) dengan pengembangan menggunakan reaksi *co-sintering* atau *coating-sintering*. Pengaruh dolomit pada struktur dan sifat membran keramik berpori dibahas secara rinci berdasarkan distribusi ukuran porositas dan ukuran pori serta struktur mikronya.

Metode *co-sintering* telah banyak disoroti oleh beberapa peneliti karena proses *co-sintering* yang dapat mengurangi waktu sintering dan mempersingkat periode persiapan, sehingga mengurangi biaya dari pembuatan membran. Selain untuk mengurangi biaya produksi metode *co-sintering* merupakan metode yang biasa digunakan untuk memfabrikasi 2 material atau lebih. Proses *co-sintering* untuk keramik membran mikrofiltrasi (MF) diperkenalkan untuk mengurangi biaya operasional membran ditambah dengan penggunaan lempung murah atau abu layang (Fang, dkk., 2011) untuk pembuatan membran keramik pada suhu *sintering* rendah (biasanya  $800\text{--}1300^\circ\text{C}$ ), karena abu layang memiliki komposisi bahan yang kompleks (Dong, dkk., 2019). Sebagai contoh, membran serat berongga alumina (Dong, dkk., 2019), membran alumina dua lapis (Feng, dkk., 2007), membran keramik alumina-zirkonia (Feng, dkk., 2007), membran mikrofiltrasi *cordierite* (Dong, dkk., 2009), dan titanium oksida membran ultrafiltrasi (UF) (Qiu, dkk., 2010) dibuat dengan proses *co-sintering*. Dari studi-studi

ini menunjukkan bahwa proses *co-sintering* dapat diterapkan pada abu layang dengan pelapisan dolomit untuk mensintesis membran keramik.

## A.1 Membran

Membran berasal dari bahasa Latin “membran” yang berarti kulit kertas. Saat ini kata “membran” telah diperluas untuk menggambarkan suatu lembaran tipis fleksibel atau film, bertindak sebagai pemisah selektif antara dua fase karena bersifat semipermeabel (Wenten, 2000).

Membran merupakan suatu media berpori yang berbentuk seperti tabung atau film tipis, bersifat semipermeabel yang fungsinya untuk memisahkan partikel dengan ukuran molekular (spesi) dalam suatu sistem larutan. Spesi yang memiliki ukuran lebih besar dari pori membran akan tertahan sedangkan spesi dengan ukuran yang lebih kecil dari pori membran akan lolos melalui pori-pori membran. Membran yang dilewati oleh suatu spesi dinyatakan dengan koefisien permeabilitas. Besaran ini dipengaruhi oleh karakteristik membran (Notodarmojo, dkk., 2004).

Membran berfungsi memisahkan *material* berdasarkan ukuran dan bentuk molekul dengan cara menahan komponen dari umpan yang mempunyai ukuran lebih besar dari pori-pori membran dan meloloskan komponen yang mempunyai ukuran yang lebih kecil. Larutan yang mengandung komponen yang tertahan disebut konsentrat dan larutan yang mengalir disebut permeat. Filtrasi dengan menggunakan membran selain berfungsi sebagai sarana pemisahan juga berfungsi sebagai sarana pemekatan dan pemurnian dari suasana larutan yang dilewatkan pada membran tersebut (Agustina, dkk., 2006).

Klasifikasi membran Berdasarkan bahan yang digunakan menurut Agustina, dkk (2006) adalah sebagai berikut :

a. Membran Polimer

Pada dasarnya semua polimer dapat digunakan sebagai penghalang (*barrier*) atau *material* membran namun sifat fisika dan kimianya sangat berbeda dikarenakan hanya polimer tertentu yang dapat digunakan dalam percobaan.

b. Membran Anorganik

Pada membran anorganik memiliki stabilitas kimia dan termal yang baik berhubungan dengan material polimer. Pembagian tipe membran anorganik dibedakan menjadi 3, yaitu:

1) Membran keramik

Membran keramik dibentuk dengan perpaduan sebuah logam dengan non logam sehingga membentuk oksida, nitrida, atau karbida.

2) Membran gelas

Membran gelas (silika,  $\text{SiO}_2$ ) menggunakan teknik *demixed glasses*.

3) Membran metalik

Membran metalik ditentukan dengan mensintering bubuk logam, namun penjelasan mengenai membran ini masih terbatas.

c. Membran Biologi

Struktur dan fungsi dari membran biologi sangat berbeda dengan membran sintetik. Membran biologi atau membran sel mempunyai struktur yang sangat kompleks. Karakteristik dari beberapa membran sel mengandung struktur lipid *bilayer*.

### Membran keramik mikrofilter

Membran keramik dapat digambarkan sebagai sebuah media selektif permeabel yang mempunyai pori dengan diameter tertentu dimana faktor permeabilitas dan separasi merupakan indikator yang paling penting dalam menentukan performanya. Untuk sebuah membran keramik berpori (*porous*), terdapat

ciri-ciri tertentu yaitu jika dilihat dari ketebalan, ukuran pori dan permukaan porositas dari membran (Li, 2007).

Membran keramik berpori adalah membran dengan tipe asimetrik yang memiliki ketebalan support sekitar 1–3 mm. Lapisan mikrofiltrasi biasanya berukuran 10–30 $\mu\text{m}$  dan oksida yang umum digunakan untuk membran adalah zirconia ( $\text{ZrO}_2$ ) dan alumina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ). Membran ultrafiltrasi tebalnya hanya beberapa mikrometer dan umumnya terbuat dari alumina, zirconia, titania ( $\text{TiO}_2$ ) dan cerium ( $\text{CeO}_2$ ). Membran nanofiltrasi memiliki ukuran pori kurang dari 1 $\mu\text{m}$ , umumnya terbuat dari zirconia dan titania. Berdasarkan ukuran kerapatan pori, membran dapat dibagi menjadi tiga, yaitu :

- a. Makropori : Membran dengan ukuran pori > 50 nm,
- b. Mesopori : Membran dengan ukuran pori antara 2 – 50 nm,
- c. Mikropori : Membran dengan ukuran pori < 2 nm (Mulder, 1996).

Membran keramik kebanyakan dibuat dalam dua bentuk geometri utama yaitu : *tubular* dan *flat* (Baker, 2004). Kelebihan membran keramik terletak pada kestabilan temperaturnya yang baik, tahan terhadap senyawa kimia, degradasi biologis ataupun mikroba. Sifat-sifat ini menunjukkan keunggulan bila dibandingkan dengan membran yang terbuat dari senyawa polimer, dan relatif mudah untuk dibersihkan dengan *cleaning agent*. Sedangkan kekurangan membran keramik terutama timbul dari proses preparasinya sangat sulit mencapai kualitas produk akhir yang *reproducible*. Hal ini karena pada dasarnya sifat *brittle* dari membran keramik membuatnya lebih mahal daripada sistem membran polimer. Selain itu, harga sistem membran meningkat signifikan seiring dengan meningkatnya kebutuhan sifat-sifat produk, antara lain porositas, ukuran pori, *reproducibility*, dan *reliability* (Ma'ruf, dkk., 2015).

Menurut Judistira (2016), membran keramik berdasarkan ukuran porinya dapat dibedakan menjadi 4 yaitu, yaitu mikrofiltrasi, ultrafiltrasi, mikrofiltrasi, dan *reverse osmosis*.

a. Mikrofiltrasi

Membran mikrofiltrasi (MF) dapat dibedakan dari membran *reverse osmosis* (RO) dan ultrafiltrasi (UF) berdasarkan ukuran partikel yang dipisahkan. Membran mikrofiltrasi merupakan membran yang kemampuan penyaringannya berkisar diantara membran ultrafiltrasi dengan filter konvensional pada umumnya (Judistira, 2016). Pada membran mikrofiltrasi, garam-garam tidak dapat direjeksi oleh membran. Proses filtrasi dapat dilaksanakan pada tekanan relatif rendah yaitu di bawah 2 bar. Membran mikrofiltrasi dapat dibuat dari berbagai macam material baik organik maupun anorganik. Membran anorganik banyak digunakan karena ketahanannya pada suhu tinggi. Beberapa teknik yang digunakan untuk membuat membran antara lain *sintering*, *track atching*, *stretching*, dan *phase inversion* (Wenten, 2000).

b. Ultrafiltrasi

Proses ultrafiltrasi berada diantara proses nanofiltrasi dan mikrofiltrasi. Ukuran pori membran berkisar antara 0,01 sampai 0,1  $\mu\text{m}$ . Ultrafiltrasi digunakan untuk memisahkan makromolekul dan koloid dari larutannya. Membran ultrafiltrasi dan mikrofiltrasi merupakan membran berpori dimana rejeksi zat terlarut sangat dipengaruhi oleh ukuran dan berat zat terlarut relatif terhadap ukuran pori membran. Ukuran molekul yang dapat lolos melewati membran ultrafiltrasi berkisar antara 104-108 Dalton (Mulder, 1996). Membran nanofiltrasi merupakan membra dengan ukuran pori terkecil dibandingkan dengan 2 membran yang telah disebutkan. Membran ultrafiltrasi dapat dipergunakan untuk pemurnian air yaitu menghilangkan koloid (penyebab *fouling*) dan

penghilangan mikroba, patogen dan partikel dengan modul higienis (Judistira, 2016). Membran nanofiltrasi merupakan membran dengan ukuran pori terkecil dibandingkan dengan 2 membran yang telah disebutkan (Mulder, 1996). Spesifikasi membran mikrofiltrasi dan ultrafiltrasi disajikan pada Tabel 5.1.

Tabel 5.1. Spesifikasi Membran Mikrofiltrasi dan Ultrafiltrasi (Judistira, 2016)

Spesifikasi Membran	Membran Keramik Mikrofiltrasi	Spesifikasi Membran Ultrafiltrasi
Membran	Simetrik berpori	Simetrik berpori
Ketebalan	10-150 $\mu\text{m}$	150 $\mu\text{m}$ (monolitik untuk beberapa keramik)
Ukuran pori	0,05-10 $\mu\text{m}$	1-100 $\mu\text{m}$
Penggerak	Dengan tekanan (<2 bar)	Dengan tekanan (1-10 bar)
Prinsip pemisahan	Mekanisme penyaringan	Mekanisme penyaringan
Material membran	Polimer, keramik	Polimer, keramik

c. *Reverse Osmosis*

Membran *reverse osmosis* (osmosis balik) digunakan untuk memisahkan zat terlarut yang memiliki berat molekul yang rendah seperti garam anorganik atau molekul organik kecil seperti glukosa dan sukrosa dari larutannya. Membran yang lebih dense (ukuran pori lebih kecil dan porositas permukaan lebih rendah) dengan tahanan hidrodinamik yang lebih besar diperlukan pada proses ini. Hal ini menyebabkan tekanan operasi pada osmosis balik akan sangat besar untuk menghasilkan fluks yang sama dengan proses mikrofiltrasi dan ultrafiltrasi. Tahanan hidrodinamik ditentukan oleh lapisan atas yang rapat (Wenten, 2000). Spesifikasi membran reverse osmosis dan membran nanofiltrasi disajikan pada Tabel 5.2.

Tabel 5.2. Spesifikasi Membran Keramik Reverse Osmosis dan Nanofiltrasi (Judistira, 2016)

Spesifikasi Membran	Membran Keramik Reverse Osmosis	Spesifikasi Membran Nanofiltrasi
Membran	<b>Asimetris atau komposit</b>	Komposit
Ketebalan	Sub layer = 150 $\mu\text{m}$ , Top layer = 1 $\mu\text{m}$	Sub layer = 150 $\mu\text{m}$ Top layer = 1 $\mu\text{m}$
Ukuran pori	< 2 $\mu\text{m}$	< 2 $\mu\text{m}$
Penggerak	Dengan tekanan air payau (15-25 bar) Air laut (40-80 bar)	Dengan tekanan (10-25 bar)
Prinsip pemisahan	Difusi larutan	Difusi pelarut
Material membran	selulosa asetat, poliamida, poliamida aromatis, polieteramida & polieterurea. (polimerisasi interfasa)	poliamida (polimerisasi interfasa)

#### d. *Nanofiltrasi*

Proses nanofiltrasi merejeksi kesadahan, menghilangkan bakteri dan virus, menghilangkan warna karena zat organik tanpa menghasilkan zat kimia berbahaya seperti hidrokarbon terklorinasi. Nanofiltrasi cocok bagi air dengan padatan total terlarut yang relatif rendah seperti air permukaan dan air tanah, dengan tujuan untuk melakukan softening. Softening merupakan proses yang dilakukan untuk menyisihkan kation polivalen. Selain digunakan pada air permukaan dan air tanah, nanofiltrasi juga digunakan untuk menyaring desinfektan seperti zat organik alam dan sintetis (Judistira, 2016). Sifat rejeksinya khas terhadap tipe ion-ion divalen lebih cepat dihilangkan daripada yang ekavalen. Formulasi dasarnya mirip osmosis balik tetapi mekanisme operasionalnya mirip ultrafiltrasi. Jadi nanofiltrasi itu gabungan antara osmosis balik dan ultrafiltrasi (Wenten, 2000).

## A.2 Abu Layang

Abu layang adalah limbah padat sisa hasil pembakaran batubara dari pembangkit listrik batubara. Diperkirakan bahwa produksi abu layang pertahun adalah lebih dari 500 juta ton di seluruh dunia. Abu layang batubara merupakan limbah buangan yang biasanya hanya dilepaskan begitu saja ke udara tanpa adanya pengendalian khusus untuk melepaskannya ke udara. Abu layang batubara merupakan salah satu jenis limbah B3, sehingga sangat berbahaya jika mencemari udara. Abu layang umumnya, disimpan sementara pada pembangkit listrik tenaga batubara dan akhirnya ditampung sebagai *landfill* (tempat pembuangan). Penumpukan abu layang batubara ini menimbulkan masalah yang serius bagi lingkungan, yaitu mencemari lingkungan udara dan lingkungan tanah (Jumaeri, dkk., 2007). Abu layang mempunyai titik lebur sekitar 1300° C dan berdasarkan uji komposisi kimia abu layang mengandung CAS ( $\text{CO-Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$ ) dalam jumlah besar yang merupakan pembentuk utama *network glass*. Abu layang mempunyai kerapatan massa (densitas), antara 2,0 – 2,5 g/cm<sup>3</sup> (Bienias, 2003). Secara kimia abu layang merupakan mineral alumino silikat yang banyak mengandung unsur-unsur Ca, K, dan Na disamping itu juga mengandung sejumlah kecil unsur C dan N (Damayanti, 2018).

Komponen utama dari abu layang batu bara adalah silika ( $\text{SiO}_2$ ), alumina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ), dan besi oksida ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ). Sisanya adalah karbon, kalsium, dan magnesium. Rumus empiris abu layang adalah  $\text{Si}_{1,0}\text{Al}_{0,45}\text{Ca}_{0,51}\text{Na}_{0,047}\text{Fe}_{0,039}\text{Mg}_{0,020}\text{K}_{0,013}\text{Ti}_{0,011}$ . Abu layang batu bara juga memiliki komponen massa *amorf* seperti silika ( $\text{SiO}_2$ ), alumina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) dan komponen fasa kristalin yang berbentuk  $\alpha$ -*quartz* ( $\text{SiO}_2$ ) dan *mullite* ( $2\text{SiO}_2\cdot 3\text{AlO}_3$ ), *hematite* ( $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ ) dan *magnetite* ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ) (Tanaka, 2002). Komposisi kimia abu layang batubara PLTU Rembang disajikan pada Tabel 5.3.

Tabel 5.3. Komposisi Kimia Abu Layang Batubara PLTU Rembang (PT. PJB PLTU UBJO dan M Rembang 2018)

Parameter	Unit	Test Results	Test Method
Silikon dioksida ( $\text{SiO}_2$ )	%	46,60	XRF
Aluminium trioksida ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ )	%	24,40	XRF
Besi trioksida ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ )	%	9,40	XRF
Kalsium oksida	%	7,81	XRF
Magnesium oksida ( $\text{MgO}$ )	%	4,57	XRF
Sulfit ( $\text{SO}_3$ )	%	0,548	XRF
Kalium oksida ( $\text{K}_2\text{O}$ )	%	1,62	XRF
Total kandungan pengotor organik	%	1,71	Hilang pada pemanasan suhu $950^\circ\text{C}$

Gambar abu Abu layang batubara PLTU Rembang disajikan pada Gambar 5.1.



Gambar 5.2. Abu Layang Batubara PLTU Rembang

## 2.1 Sifat Abu layang

Sifat kimia dari abu layang batubara dipengaruhi oleh jenis batubara yang dibakar dan teknik penyimpanan serta perawatannya. Pembakaran batubara *lignite* dan sub *bituminous* menghasilkan abu layang dengan kalsium dan magnesium oksida lebih banyak daripada jenis batubara *bituminous*. Namun memiliki kandungan silika, alumina, dan karbon yang lebih sedikit daripada *bituminous*. Sifat fisika dari abu layang batubara dapat dilihat dari posisi dan sifat-sifat mineral pengotor dalam batubara serta proses pembakarannya, dalam proses pembakaran batubara titik leleh abu batu bara lebih tinggi dari temperatur pembakarannya dan kondisi ini menghasilkan tekstur butiran yang sangat halus. Abu layang terdiri dari butiran halus yang umumnya berbentuk bola rongga padat atau berongga. Ukuran partikel abu layang hasil pembakaran batu bara *bituminous* lebih kecil dari 0,075 mm. Kerapatan abu layang berkisar antara 2100-3000 kg/m<sup>3</sup> dan luas area spesifiknya (diukur berdasarkan metode permeabilitas udara *blaine*) yaitu antara 170 sampai 1000 m<sup>2</sup>/kg. Warna dari abu layang adalah abu-abu keputihan dan ukuran butirnya sangat halus yaitu sekitar 88% (Haryanti, 2014).

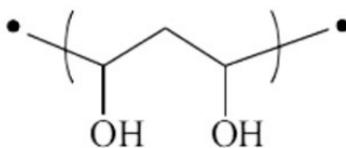
## A.3 Dolomit

Dolomit ( $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ ) adalah mineral alami dengan cadangan melimpah di seluruh dunia termasuk Indonesia, penyebaran dolomit hampir di sebagian besar daerah di Indonesia. Dipasaran, dolomit memiliki tekstur seperti tepung berwarna keabu-abuan atau kebiru-biruan (Wahyono, dkk., 2011). Dolomit dapat terbentuk baik secara primer maupun sekunder. Secara primer dolomit biasanya terbentuk bersamaan dengan proses mineralisasi yang umumnya berbentuk urat-urat. Secara sekunder, dolomit umumnya terjadi karena terjadi pelindihan (*leaching*) atau peresapan unsur magnesium dari air laut kedalam batu gamping atau istilah ilmiah-

nya adalah proses dolomitisasi. Proses dolomitisasi adalah proses perubahan mineral kalsit menjadi dolomit. Sebagai salah satu rumpun mineral karbonat, mineral dolomit murni secara teoritis mengandung 45,6%  $\text{MgCO}_3$  atau 21,9%  $\text{MgO}$  dan 54,3%  $\text{CaCO}_3$  atau 30,4%  $\text{CaO}$ . Rumus kimia mineral dolomit dapat ditulis sebagai  $\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$ ,  $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$  atau  $\text{Ca}_x\text{Mg}_{1-x}\text{CO}_3$ , dengan nilai  $x$  lebih kecil dari satu. Dolomit yang ada di alam jarang dalam keadaan murni, karena umumnya mineral ini selalu terdapat bersama-sama dengan batu gamping. Dalam batuan dolomit, mineral kalsit adalah pengotor paling utama, disamping mineral kuarsa, lempung maupun pirit. Dalam mineral dolomit terdapat juga ion-ion pengotor, terutama ion besi (Fe). Dolomit dengan struktur lapisan alternatif kalsit dan magnesit baru-baru ini diperhitungkan sebagai adsorben potensial dengan harga rendah dan tersedia secara Perlakuan termal mengarah pada peningkatan sifat adsorpsi padatan dolomit. Proses kalsinasi parsial (pengarangan) dolomit menghasilkan produk padat yang terdiri dari kalsit berpori kaku dan magnesium oksida bubuk halus, produk yang dihasilkan digunakan di sebagian besar aplikasi dolomit (Diwan, dkk., 2020).

#### A.4 PVA (Poli Vinil Alkohol)

Poli Vinil alcohol memiliki sifat hidrofilik sehingga selektif terhadap air. Sifat hidrofilik ini disebabkan karena adanya gugus  $-\text{OH}$  yang berinteraksi dengan molekul air melalui ikatan hydrogen (Franco, dkk., 2012). Struktur PVA terdiri dari gabungan monomer  $\text{C}_2\text{H}_4\text{O}_5$ . Sifat fisik PVA seperti kekuatan, kelarutan dalam air, permeabilitas gas dan sifat termalnya bergantung pada berat molekul polimer. Semakin besar berat molekul PVA, maka viskositas, elastisitas, ketahanan terhadap air, pelarut, dan kekuatan melekat akan semakin meningkat. PVA banyak digunakan sebagai membran anorganik (Charles, 2010). Struktur kimia PVA disajikan pada Gambar 2.

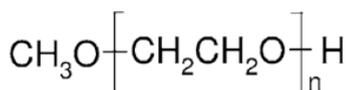


Gambar 5.2. Struktur Kimia PVA (Pouranvari, dkk., 2016)

PVA sangat baik digunakan untuk membentuk film, pengemulsi dan sifat perekat, tahan terhadap minyak, lemak dan pelarut, tidak berbau, tidak beracun, dan memiliki kuat tarik yang tinggi (Shalumon, dkk., 2011).

### A.5 PEG (Polietilen Glikol)

Polietilen Glikol adalah molekul sederhana dengan struktur molekul linear atau bercabang. Pada suhu ruang, PEG dengan molekul dibawah 23-700 berbentuk cair, sedangkan yang memiliki bobot molekul 700-900 berbentuk semi padat, dan PEG dengan molekul 900-1000 atau lebih berbentuk padatan. PEG larut dalam air dan beberapa pelarut organik seperti toluen, aseton, metanol, dan metilklorida tetapi tidak larut dalam heksana dan hidrokarbon alifatik yang sejenis (Harris, 1992). PEG termasuk kedalam golongan polimer sintesis. PEG mempunyai kelarutan yang baik dalam air dan kesamaan secara struktur kimia karena adanya gugus hidroksil primer pada ujung rantai polieter yang mengandung oksietilen ( $-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{O}-$ ). PEG mempunyai sifat stabil dan mudah larut dalam air hangat, tidak beracun, non-korosif, tidak berbau, tidak berwarna, higroskopik (mudah menguap) dan juga dapat mengikat pigmen (Veronese dan Caliceti, 2006). Struktur molekul PEG disajikan pada Gambar 3.



Gambar 5.3. Struktur Molekul PEG (Veronese dan Caliceti, 2006)

Bahan aditif pada membran berguna untuk meningkatkan atau memodifikasi sifat-sifat mekanik, kimia, dan fisik suatu membran. Senyawa PEG merupakan salah satu diantara zat aditif yang sering digunakan pada pembuatan membran yang berfungsi sebagai porogen untuk meningkatkan keteraturan bentuk pori pada membran sehingga struktur pori lebih rapat dan membran yang dihasilkan semakin bagus. Dalam memodifikasi membran, PEG ini berfungsi sebagai zat aditif untuk meningkatkan absorpsi dan disolusi suatu zat aktif yang sukar larut dalam air. Bahan material polimer seperti PES (*poly ether sulfones*) mempunyai kelarutan yang kecil dalam air, sehingga akan mengakibatkan menurunnya aliran *water flux* karena adanya penyumbatan pada area pori – pori membran selama proses filtrasi (Shargel, dkk., 2005).

Senyawa PEG adalah senyawa hasil kondensasi dari oksietilen dan air dengan rumus molekul  $H(OCH_2CH_2)_nOH$ , dimana  $n$  merupakan bilangan (jumlah) pengulangan grup oksietilen mulai dari 4 sampai 180. Keistimewaan dari PEG adalah senyawa tersebut bersifat larut dalam air. PEG juga larut dalam berbagai pelarut organik dari golongan hidrokarbon aromatik, seperti metanol, benzen, diklorometana dan tidak larut dalam dietil eter dan heksan. Sifat-sifat lain daripada PEG adalah merupakan senyawa yang tidak beracun, netral, tidak mudah menguap dan tidak iritasi. Pelarut PEG banyak digunakan sebagai *emulsifier* dan *detergen*, *humectants*, dan pada bidang farmasi (Veronese dan Caliceti, 2006).

## A. 6 Proses Co-sintering

Proses *Co-sintering* atau *Coating-sintering* adalah proses untuk mencampur dua bahan menjadi satu bagian dengan masing masing bahan saling kontak satu sama lain, umumnya teknik ini digunakan untuk memfabrikasi 2 material atau lebih (Boonyongmaneerat, 2006). Proses *Co-sintering* menawarkan beberapa keuntungan, termasuk biaya lebih rendah dan langkah pembuatan sederhana dibandingkan dengan metode fabrikasi

lain seperti penggabungan. Untuk membuat membran keramik murah, beberapa peneliti menyoroiti proses ini. Proses *Co-sintering* dapat mengurangi waktu sintering dan mempersingkat periode persiapan, sehingga mengurangi biaya pembuatan membran.

## **B. PEMBUATAN MEMBRAN KERAMIK BERBAHAN DASAR ABU LAYANG DAN KARAKTERISTIKNYA**

### **B.1 Pembuatan Membran Keramik Berbahan dasar Abu Layang**

Alat-alat yang digunakan pada sintesis membran dan karakterisasinya adalah alat-alat gelas, cetakan membran diameter 5 cm, *hot plate*, *magnetic stirrer*, neraca analitik, *furnace*, *stopwatch*, HEM 3D-E *Ball Milling* PM 200 *Retsch*, Seperangkat alat uji sifat mekanik membran (Pearson Panke Equipment Ltd.), *Scanning Electron Microscope* (SEM) FEI Quanta 650, *Xray Diffraction* (XRD), Spektroskopi Infra Merah (FTIR) Spektrum 100-Perkin Elmer dan *Thermogravimetric Analysis* (TGA) Hitachi High-Tech, STA 7300.

Bahan-bahan yang digunakan untuk sintesis membran keramik adalah akuades, abu layang batubara diperoleh dari PT. PJB PLTU UBJO&M Rembang, Mineral Dolomit, Etanol 98%, *Poly Etylen Glykol* (PEG) 1000, *Poly Vinyl Alkohol* (PVA) Teknis dengan  $M_w$  13.000-23.000, dan  $HNO_3$  p.a (65%,  $\rho = 1,39$  Kg/L, Merck). HCl, NaOH, semuanya berkualifikasi p.a,

#### **B.1.1 Prosedur Penelitian**

Abu layang batubara sebagai bahan baku utama pembuatan membran keramik dengan penambahan dolomit. Dolomit yang digunakan untuk melapisi membran keramik dibuat dengan menambahkan 15% massa, 30% massa, dan 45% massa dolomit ke abu layang, dan masing-masing diberi label C0D0, C0D15, C0D30 dan C0D45.

### Preparasi Awal

Serbuk abu layang dikalsinasi pada 600° C selama 3 jam. Abu layang diayak 100 mesh. Campuran abu layang dengan etanol dan campuran serbuk CuO dengan etanol digiling dengan *Ball Milling* selama 30 menit. Selanjutnya dilakukan pengeringan pada suhu 90° C selama 24 jam (Liu, dkk., 2016).

### Pembuatan Campuran PVA

Sebanyak 6 g PVA dicampurkan dengan 10 mL HNO<sub>3</sub> 1M dan akuades 190 mL, campuran diaduk dengan *magnetic stirrer* selama 1 jam dengan pemanasan 80°C. Pemanasan dilakukan untuk menguapkan H<sub>2</sub>O serta untuk mempercepat larutnya PVA (Suprihatin, dkk., 2015).

### Pembuatan Membran Padat

Sebanyak 0,3 g PEG ditambahkan larutan PVA 3,4 g ditambahkan dengan campuran abu terbang batubara kemudian campuran dituangkan kedalam *petri dish* berdiameter 50 mm dengan ketebalan 2-3 mm selanjutnya pasta dikeringkan pada suhu ruang selama 24 jam. Kemudian membran setengah basah di *furnace* pada suhu 1100° C selama 2 jam dengan laju pemanasan 5°C/menit (Wang, dkk., 2019 yang dimodifikasi). Campuran abu layang dan campuran dolomit dibuat menjadi bubur dengan penambahan 0,3 g PEG dan 5 g PVA. Campuran diaduk hingga homogen. Selanjutnya campuran ini dilapiskan ke abu layang dengan metode *dip-coating*. Campuran yang dihasilkan kemudian dikeringkan pada suhu ruangan selama 24 jam, lalu di *furnace* pada suhu 1100° C selama 2 jam dengan laju pemanasan 5° C/menit (Liu, dkk., 2016). Membran keramik yang dihasilkan selanjutnya dikarakterisasi menggunakan *Scanning Electron Microscope* (SEM), *X Ray Diffraction* (XRD), Spektroskopi Infra Merah (FTIR) Spektrum 100-Perkin Elmer dan *Thermogravimetric Analysis* (TGA), FTIR

## B. 2 Karakterisasi Membran Keramik

Pada pembuatan membran keramik berbahan dasar abu layang, faktor-faktor yang mempengaruhi karakteristik membran divariasikan yaitu penambahan domolit seperti disajikan dalam Tabel 5.4.

Tabel 5.4 Variasi % Penambahan Dolomit terhadap Massa Abu Layang

Dolomit 0%	Dolomit 15%	Dolomit 30%	Dolomit 45%
COD0	COD15	COD30	COD45

Selanjutnya penampakan secara fisik membran keramik berdasarkan variasi penambahan domolit disajikan pada Gambar 5.4 - 5.7.



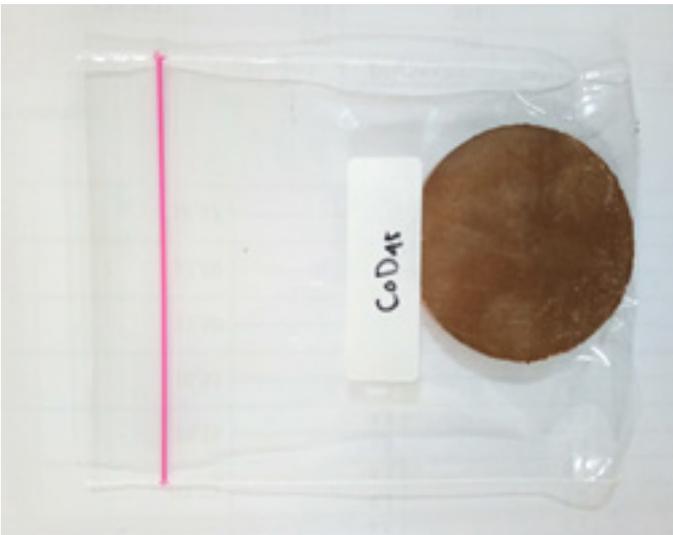
Gambar 5.4. Membran Keramik COD0



Gambar 5.5. Membran Keramik COD15



Gambar 5. 6. Membran Keramik COD30



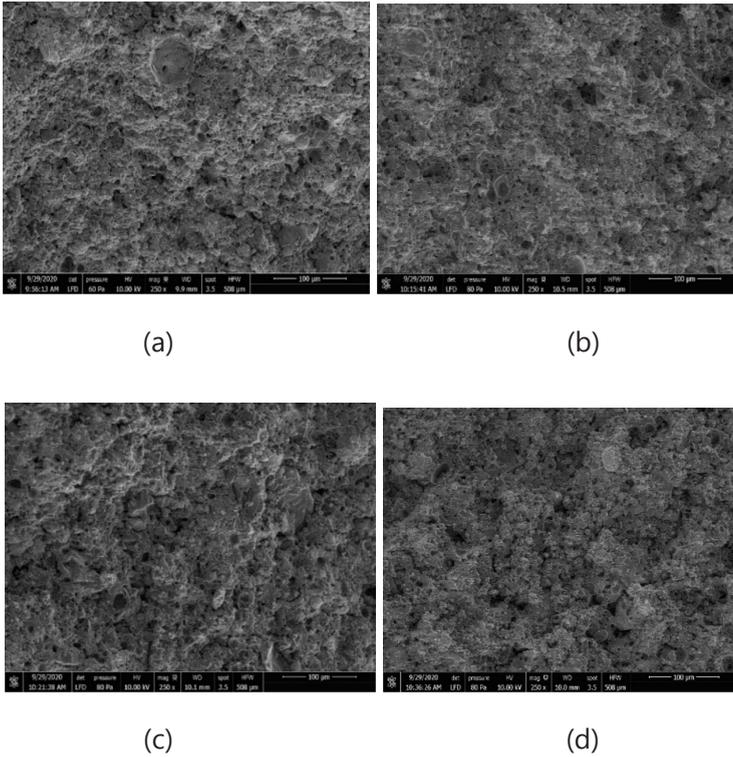
Gambar 5.7. Membran Keramik COD45

### **Pengujian morfologi membran keramik menggunakan SEM**

*Scanning Electron Microscope (SEM)* adalah tipe mikroskop elektron yang mampu menggambarkan permukaan sampel melalui proses scan dengan menggunakan pancaran energi tinggi dari

elektron dalam suatu pola *scan raster*. Elektron berinteraksi dengan atom–atom sehingga sampel menghasilkan sinyal yang dapat memberikan informasi mengenai permukaan topografi, komposisi dan sifat–sifat lain seperti konduktivitas listrik dari sampel. Tipe sinyal yang dihasilkan oleh SEM dapat meliputi elektron sekunder, karakteristik sinar–X dan cahaya (katoda luminisens). Sinyal tersebut berasal dari hamburan elektron permukaan unsur yang berinteraksi dengan sampel. SEM dapat menghasilkan gambar dengan resolusi yang tinggi dari suatu permukaan sampel, menampilkan secara lengkap hingga ukuran sekitar 1–5 nm. Agar menghasilkan gambar yang diinginkan maka SEM mempunyai sebuah lebar focus yang sangat besar (biasanya 25–250.000 kali pembesaran). SEM dapat menghasilkan karakteristik bentuk tiga dimensi yang berguna untuk memahami struktur permukaan dari suatu sampel (Sujatno, dkk., 2015). *Scanning Electron Microscope* (SEM) digunakan untuk mengetahui morfologi dari senyawa hasil sintesis, distribusi pertumbuhan kristal, perubahan fisika yang terjadi pada kondisi preparasi. Hasil karakterisasi SEM berupa pencitraan material dengan menggunakan prinsip mikroskopi, dengan menggunakan elektron sebagai sumber pencitraan dan medan elektromagnetik.

Secara fisik membran keramik yang dihasilkan tidak ada perubahan yang berarti. Untuk menguji morfologi semua sampel digunakan uji *Scanning Electron Microscope* (SEM) pada bagian melintang dengan perbesaran 250 x. Hasil uji foto SEM disajikan dalam Gambar 5.8.



Gambar 5.8. Foto SEM Membran (a) COD0 (b) COD15 (c) COD30 (d) COD45

Hasil Foto SEM menunjukkan bahwa penambahan dolomit mengakibatkan membran semakin berpori. Hal ini disebabkan oleh semakin meningkat penambahan dolomit, dolomit terdekomposisi menjadi  $\text{CO}_2$  yang semakin banyak. Semakin banyak  $\text{CO}_2$  mengakibatkan membran yang dihasilkan semakin berpori. Menurut Malik *dkk.*, 2020,  $\text{MgCO}_3$  terdekomposisi menjadi  $\text{MgO}$  dan  $\text{CO}_2$  pada suhu  $350\text{-}900^\circ\text{C}$ . Kandungan karbonat yang tinggi pada dolomit (sebanding dengan 48 wt%  $\text{CO}_2$ ). Dolomit memberikan efek positif terhadap porositas membran keramik, hal ini selaras dengan penelitian (Liu, *dkk.*, 2016., Sasaki, *dkk.*, 2013).

## Hasil uji porositas dan permeabilitas membran terhadap air

Suatu zat padat disebut berpori apabila zat padat mengandung pori, yaitu terdapat lubang/rongga, saluran yang lebih dalam dari zat padat. Ada dua cara untuk melihat material berpori. Material berpori ditandai dengan menggambarkan pori, tetapi juga dengan menggambarkan dinding sel (pori). Beberapa material berpori berbasis serbuk aglomerasi atau agregasi, yang pori-porinya terbentuk melalui ruang kosong antar partikel sedangkan yang lainnya berbasis jaringan padatan di sekitar pori. Untuk menggambarkan padatan berpori secara kualitatif dan kuantitatif diperlukan informasi lebih banyak seperti porositas, densitas, luas permukaan, atau ukuran pori dan distribusi ukuran pori suatu padatan berpori. Istilah yang digunakan berhubungan dengan porositas disajikan pada Tabel 5.5.

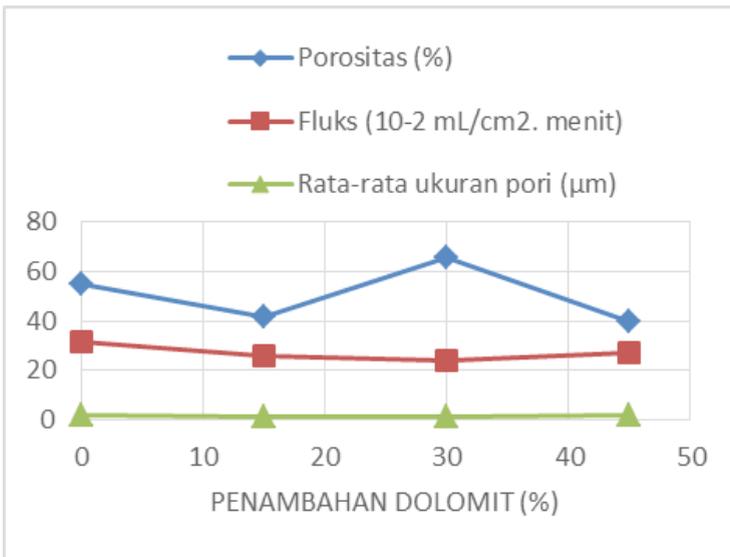
Tabel 5.5. Istilah yang Digunakan dalam Karakterisasi Padatan Berpori

Densitas	<i>True density</i>	Densitas material yang meliputi pori dan celah antar partikel (densitas jaringan padatan)
	<i>Apparent density</i>	Densitas material yang mencakup pori tertutup dan tak dapat diakses
	<i>Bulk density</i>	Densitas material yang mencakup pori dan celah antar partikel (massa per volume total, volume + fasa padat + pori tertutup + pori terbuka)
Volume pori	$V_p$	Volume pori
Ukuran pori		Disebut juga lebar pori (diameter), jarak antara dua dinding berlawanan dalam pori
Porositas		Rasio volume pori total $V_p$ dengan volume $V$ dari partikel atau serbuk
Luas permukaan		Luasan/area yang dapat diakses dari permukaan padatan per unit massa material

Untuk semua istilah pada Tabel 5.5, harga yang diukur sangat bergantung pada metode yang digunakan. Beberapa metode hanya mendeteksi pori terbuka, yaitu metode yang memanfaatkan adsorpsi molekul ke dalam lubang/celah, sedangkan lainnya bisa

mengakses pori tertutup, misalnya metode spektroskopi, difraksi dan scattering. Untuk suatu metode, besarnya pori bervariasi dengan ukuran molekul yang diperiksa.

Perhitungan % porositas dilakukan dengan menghitung porositas membran menggunakan foto SEM dengan Program Image J (Wang, dkk., 2019). Hasil uji porositas dan permeabilitas membran terhadap air disajikan pada Gambar 5.9.



**Gambar 5.9.** Hubungan antara Penambahan Dolomit (%) dengan Porositas, Rata-rata Ukuran Pori dan Fluks terhadap Air

Pada penambahan dolomit yang semakin meningkat porositas meningkat sampai dengan penambahan dolomit 30%, penambahan dolomit sampai 45% justru menurunkan porositas secara signifikan meskipun tidak diimbangi dengan data Fluks air (kemudahan air melewati pori membran) dan rata-rata ukuran pori. Membran abu layang tanpa dolomit cenderung memiliki rata-rata ukuran pori lebih tinggi (1,6994 µm) dibandingkan dengan penambahan dolomit, Penambahan dolomit yang meningkat menurunkan rata-rata ukuran pori. Hal ini dimungkinkan rata-rata

ukuran pori dolomit lebih kecil dibandingkan rata-rata ukuran pori abu layang (Malik, dkk., 2020)

### **Pengujian Komposisi dan Fasa Membran Keramik Menggunakan XRD**

X-Ray Diffraction (XRD) merupakan metode analisa non destruktif yang didasarkan pada pengukuran radiasi sinar-X yang terdifraksi oleh bidang kristal ketika terjadi interaksi antara suatu materi dengan radiasi elektromagnetik sinar X. Pada prinsipnya, XRD melibatkan sinar-X yang berinteraksi dengan bentuk kristal struktur suatu mineral. Oleh karena itu, mineral dengan bentuk kristalin atau amorf akan terbaca oleh alat XRD. Ketika sinar-X menyentuh suatu permukaan kristal struktur suatu mineral dengan sudut tertentu, dimana sebagian akan berpendar pada lapisan pertama dan bagian yang tidak berpendar akan berpendar akibat berbenturan dengan atom pada lapisan kedua, dan seterusnya pada lapisan di bawahnya. Hukum ini disebut dengan Bragg's Law.

$$n \lambda = 2d_{hkl} \sin \theta \quad (1)$$

keterangan:

$n$  = orde difraksi

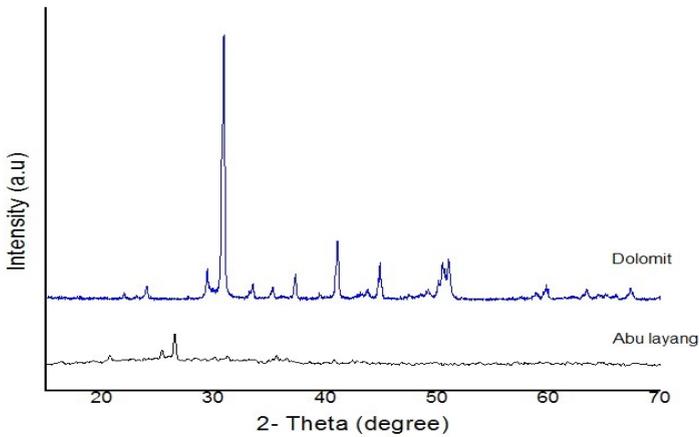
$\lambda$  = panjang gelombang (Å)

$d_{hkl}$  = jarak antar bidang atom berhubungan (Å)

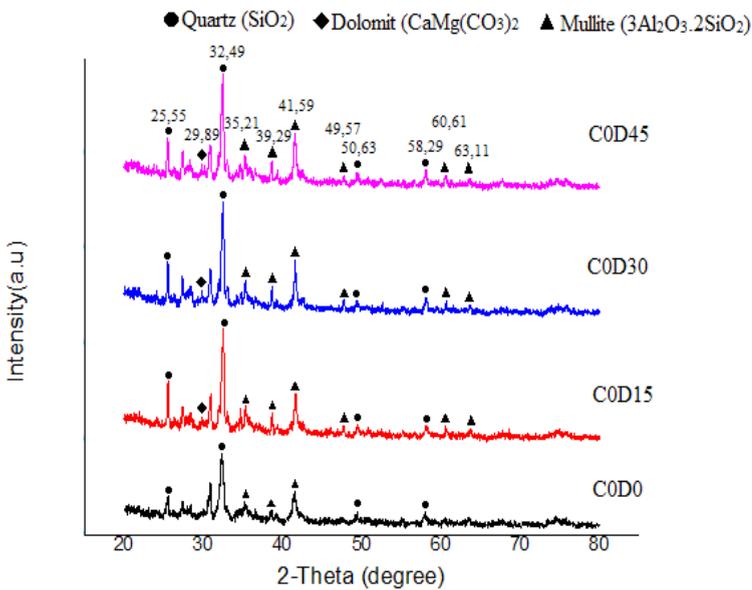
$\theta$  = sudut hamburan (°)

Persamaan diatas menunjukkan bahwa panjang gelombang identik dengan besar sudut, sehingga setiap mineral yang terdiri dari banyak kombinasi unsur akan memiliki beberapa puncak intensitas X-ray. Oleh karena itu, minimal 3 puncak pada suatu mineral sudah mampu dianggap valid (Abdullah dan Khairurrijal, 2010).

Hasil uji karakterisasi menggunakan XRD bahan awal dan membran keramik disajikan dalam Gambar 5.10 dan 5.11.



Gambar 5.10. Difraktogram Abu Layang dan Dolomit



Gambar 5.11. Difraktogram Membran dengan Variasi Penambahan Dolomit 0% (COD0), 15% (COD15), 30% (COD30), dan 45% (COD45)

Gambar 5.10 merupakan difraktogram abu layang dan dolomit yang digunakan sebagai bahan pembuat membrane keramik. Abu layang yang digunakan sebagai bahan dasar pembuatan membran keramik merupakan abu layang yang diperoleh dari PLTU Rembang. Kandungan  $\text{SiO}_2$  dan  $\text{Al}_2\text{O}_3$  yang diperoleh dari PLTU Rembang secara berurutan adalah 46,6% dan 24,4%. Sebagai komponen utama, puncak  $\text{SiO}_2$  muncul sebagai kuarsa maupun sebagai kristobalit pada  $2\theta = 22^\circ$  serta sebagai mullite ( $3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$ ) pada  $2\theta = 29, 35$ , dan  $40^\circ$  dengan intensitas yang rendah (Zou, dkk., 2019). Menurut Consoli et al 2017, illite, mullite dan kuarsa muncul pada  $2\theta = 26,61^\circ$ . Mullite dan kuarsa merupakan bagian terbesar pada abu layang sehingga memiliki intensitas yang dominan (Cao, dkk., 2020). Puncak dolomit muncul pada  $2\theta = 30^\circ$ , puncak dengan intensitas lebih rendah muncul pada  $2\theta = 40, 45$  dan  $50^\circ$  (Diwan, dkk., 2020).

Gambar 5.11 merupakan difraktogram membran keramik hasil sintesis dengan penambahan dolomit yang bervariasi. Pada membran keramik tanpa penambahan dolomit terlihat muncul kuarsa ( $2\theta = 26,61^\circ$ ) dan mullite ( $3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$ ) pada  $2\theta = 29, 35$ , dan  $40^\circ$  yang mirip dengan komposisi bahan awal yaitu abu layang ((Zou, dkk., 2019). Pada membran keramik dengan penambahan dolomit, ditandai munculnya puncak kuarsa pada  $2\theta = 32,49^\circ, 25,55^\circ$ , dan  $50, 63^\circ$ . Mullite pada  $2\theta = 41,29^\circ, 35,21^\circ$ , dan  $39, 29^\circ$ . Mullite ( $3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$ ) muncul pada difraktogram lebih banyak dari pada dolomit karena mullite merupakan hasil reaksi penggabungan komponen utama dari abu layang yaitu  $\text{Al}_2\text{O}_3$  dan  $2\text{SiO}_2$ , sedangkan dolomit muncul pada puncak  $2\theta = 29,89^\circ$  (Malik, dkk., 2020).

## Hasil Uji Gugus Fungsi menggunakan Spektroskopi Infra Merah

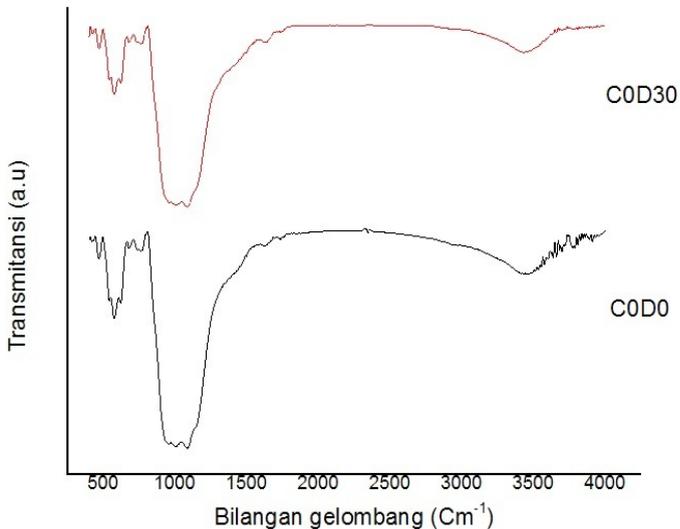
Spektroskopi adalah studi mengenai interaksi antara cahaya dengan materi. Absorpsi cahaya oleh materi dapat menyebabkan terjadinya perubahan energi translasi, rotasi, vibrasi atau transisi electron dalam molekul. Penyerapan sinar IR menyebabkan terjadinya perubahan vibrasi ikatan atom-atom dalam molekul tersebut. Frekuensi vibrasi ikatan tertentu dalam atom memberi gambaran gugus fungsi dalam suatu molekul. Frekuensi vibrasi ikatan tertentu bersifat khas dan spesifik sehingga memungkinkan pendeteksian jenis ikatan atau gugus fungsi dalam molekul. Spektrum IR bukan satu-satunya sarana penentuan struktur molekul karena hanya mampu memberikan jenis ikatan atau gugus fungsi.

Analisis spektrum IR dapat dengan analisis: a) daerah sidik jari; b) analisis dengan identifikasi gugus fungsi. Daerah sidik jari merupakan spektrum vibrasi molekul. Bentuk spektrumnya rumit dan bermanfaat untuk membandingkan spectrum senyawa yang dianalisis. Jika spektrum vibrasi "yang dicari" sama dengan sidik jari standar maka senyawa dapat diketahui. Sebagai pembanding adalah spektrum IR dari berbagai senyawa pada Handbook. Cara ini kurang praktis karena ada ribuan senyawa organik.

Analisis identifikasi gugus fungsi dilakukan dengan mengidentifikasi karakteristik spektrum ikatan tertentu, misalnya spektrum IR ikatan C=O terletak pada  $1700\text{ cm}^{-1}$ , bentuknya runcing (tajam) atau dikatakan spektrum kuat. Spektrum Vibrasi -OH terletak sekitar  $3500\text{ cm}^{-1}$ , pada umumnya berikatan hidrogen sehingga melebar. Spektrumnya tidak tajam. Bila ada ikatan C=O dan gugus -OH maka dimungkinkan senyawa adalah asam.

Untuk mengetahui gugus fungsi yang terdapat pada membran keramik maka pada membran keramik tanpa penambahan dan dengan penambahan dolomit diuji menggunakan spektrofotometer

infra merah. Hasil pengujian disajikan pada Gambar 5.12. Pada bilangan gelombang  $1090\text{ cm}^{-1}$  merupakan vibrasi ulur asimetrik dari Si-O,  $900\text{-}550\text{ cm}^{-1}$  merupakan vibrasi ulur dari Al-O-Al. Bilangan gelombang  $463\text{ cm}^{-1}$  menandakan adanya vibrasi tekuk pada permukaan Si-O-Si. Semua bilangan gelombang yang telah dituliskan tersebut menandakan keberadaan aluminosilikat yang merupakan komponen utama penyusun abu layang (Yang, dkk., 2020). Menurut Koshy dkk., 2020, bilangan gelombang  $1049$ ,  $1039$ , dan  $1033\text{ cm}^{-1}$  merupakan vibrasi ulur Si-O-Si sedangkan  $1200\text{-}900\text{ cm}^{-1}$  merupakan vibrasi ulur asimetrik T-O-Si (tetrahedral) dari  $\text{TO}_4$  (T= Al, Si). Bilangan gelombang  $881\text{-}870\text{ cm}^{-1}$  menunjukkan ikatan Si-OH, sedangkan  $742\text{-}694\text{ cm}^{-1}$  merupakan vibrasi simetrik dan asimetrik dari Si-O-T (sebagai contoh : Si-O-Al dan Si-O-Si) dari  $\text{SiO}_4$  dan  $\text{AlO}_4$  tetrahedral. Vibrasi ulur gugus -OH ditandai dengan munculnya serapan melebar pada bilangan gelombang  $3446\text{ cm}^{-1}$  yang dikuatkan dengan ikatan pada  $1640\text{ cm}^{-1}$  (Ren, dkk., 2020).



**Gambar 5.12.** Spektra FTIR Membran Keramik tanpa Penambahan Dolomit (COD0) dan dengan Penambahan Dolomit 30% (COD30)

Bilangan gelombang yang muncul pada membran keramik dengan penambahan dolomit terdapat pada 1438, 881, dan 728  $\text{cm}^{-1}$  yang merupakan ciri khas grup karbonat (Diwan, dkk., 2020). Menurut Shirazi dkk., 2020, bilangan gelombang 1438  $\text{cm}^{-1}$  merupakan vibrasi C-O pada grup karbonat, sedangkan bilangan gelombang 3428  $\text{cm}^{-1}$  yang merupakan vibrasi ulur -OH.

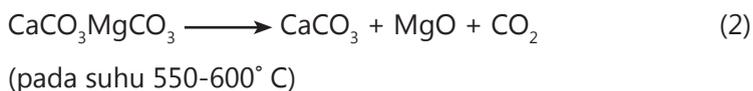
### **Pengujian Kestabilan Termal Menggunakan TGA**

Metode analisis Termogravimetri atau TGA merupakan prosedur yang cukup banyak dilakukan untuk karakterisasi bahan. Alat TGA memiliki prinsip kerja yaitu mengukur berkurangnya massa material ketika dipanaskan dari suhu kamar sampai suhu tinggi. Pengukuran digunakan khususnya untuk menentukan komposisi dari suatu bahan atau cuplikan dan memperkirakan stabilitas termal pada suhu diatas 1000°C. Alat TGA dilengkapi dengan timbangan mikro didalamnya, sehingga secara otomatis dapat merekam berat sampel setiap saat dan disajikan dalam tampilan grafik. Metode ini dapat mengkarakterisasi suatu bahan atau cuplikan yang dilihat dari seberapa banyak sampel kehilangan massanya atau terjadinya dekomposisi, oksidasi atau dehidrasi. Mekanisme perubahan massa pada TGA ialah bahan akan mengalami kehilangan maupun kenaikan massa. Proses kehilangan massa ini terjadi karena adanya proses dekomposisi yaitu pemutusan ikatan kimia, evaporasi yaitu kehilangan atsiri pada peningkatan suhu, reduksi yaitu interaksi bahan dengan pereduksi, dan desorpsi. Sedangkan kenaikan massa disebabkan oleh proses oksidasi yaitu interaksi bahan dengan suasana pengoksidasi dan absorpsi.

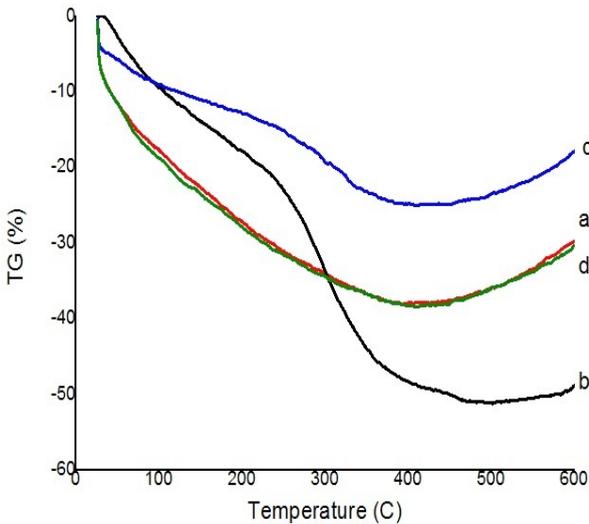
Pengujian TGA menyediakan informasi karakterisasi bebas dan tambahan untuk teknik termal. TGA mengukur jumlah dan laju (kecepatan) perubahan massa dari sampel sebagai fungsi temperatur atau waktu dalam suasana yang dikendalikan. Pengukuran yang digunakan terutama untuk menentukan panas dan/ atau kestabilan bahan oksidatif serta sifat komposisi mereka.

Teknik ini dapat menganalisis bahan yang menunjukkan massa baik kekurangan atau kelebihan karena dekomposisi, oksidasi atau hilangnya bahan mudah menguap (seperti kelembaban) (Brown, 2004). Hal ini berguna untuk mempelajari bahan polimer, termasuk termoplastik, termoset, elastomer, komposit, film, serat, pelapis dan cat.

Hasil uji kestabilan termal membran keramik disajikan pada Gambar 5.13. Gambar 5.13 menjelaskan bahwa penambahan dolomit mengakibatkan penurunan kestabilan termal. Penambahan dolomit sampai 45% menyebabkan penurunan kestabilan termal secara tajam. Menurut Malik *dkk.*, 2020, berat yang hilang dimulai pada suhu 120° C karena adanya penguapan air pada pasta membran. Penurunan berat selanjutnya terjadi pada suhu 250° C yaitu terjadinya dehidrasi material anorganik pada membran. Pada suhu antara 400° C dan 600° C terjadi penurunan berat akibat adanya peristiwa dehidroksilasi dari dolomit. Sedangkan menurut Ren *dkk.*, 2020, pelentur membran yang terdiri dari PVA dan PEG akan hilang pada suhu < 200°C dan molekul air yang terdapat pada membran keramik akan hilang pada suhu 200-400° C. Secara thermal dolomit akan terdekomposisi menjadi 2 persamaan berikut: (Yu, *dkk.*, 2020)



Peningkatan jumlah dolomit tidak meningkatkan kestabilan thermal secara signifikan sebab tidak terjadi penyusutan maupun perluasan pada pori sebagai akibat terjadinya reaksi dekomposisi dolomit (Liu, *dkk.*, 2016)



Gambar 5.13. Difraktogram TGA pada a) COD0, b) COD15, c) COD30, d) COD45

## C. SIMPULAN

1. Membran keramik berbahan dasar abu layang dengan penambahan dolomit berhasil dibuat
2. Penambahan dolomit 30% mengakibatkan membran keramik menjadi semakin berpori yang ditandai dengan meningkatnya porositas dari 54,77% menjadi 65,56%, menurunnya rata-rata ukuran pori, tetapi tidak terjadi perubahan permeabilitas terhadap air secara signifikan
3. Penambahan dolomit 30% meningkatkan kestabilan termal secara signifikan

## UCAPAN TERIMA KASIH

Kami mengucapkan terima kasih kepada Lembaga Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat yang telah memberikan pendanaan Penelitian ini melalui Daftar Isian Pelaksanaan Anggaran (DIPA) Universitas Negeri Semarang Nomor: SP DIPA-023.17.2.677507/2020, tanggal 27 Desember 2019 sesuai dengan Surat Perjanjian Penugasan

Pelaksanaan Penelitian Dana DIPA UNNES Tahun 2020 Nomor: 121.23.4/UN37/PPK.3.1/2020, tanggal 23 April 2020.

## Daftar Pustaka

- Abadi, S.R.H., Sebzari, M.R., Hemati, M., Rekabdar, F., & Mohammadi, T. 2011. Ceramic membran performance in microfiltration of oily wastewater. *Desalination*, Vol. 265, Pp. 222–228.
- Abdullah, M dan Khairurrijal. 2010. Karakterisasi Nanomaterial (Teori, Penerapan dan Pengolahan Data). CV. Rezeki Putera, Bandung.
- Agustina, S. 2006. Penggunaan teknologi membran pada Pengolahan air limbah industri kelapa sawit. *Bulletin Penelitian*, Vol. 28 (1), Pp. 18-24. Teknik Kimia: Institut Teknologi Bandung.
- Ayza, L., Mestre, S., Menéndez, M., & Sánchez, E. 2015. Comparison of extruded and pressed low cost ceramic supports for microfiltration membranes. *Journal Of the European Ceramic Society*, Vol. 35, Pp. 3681–3691.
- Baker, R.W. 2004. *Membran Technology And Applications*, 2nd Ed. John Wiley & Sons Ltd: Chichester.
- Bienias, J., Walczak, M., Surowska, B. & Sobczak, J. 2003. Microstructure and Corrosion Behavior of Aluminium Abu layang Composite. *Journal of Optoelectronics and Advanced Materials*, Vol. 5, Pp. 493-502
- Boonyongmaneerat Y, & Schuh C. A. 2006. Contributions to the interfacial adhesion in co-sintered bilayers. *Metallurgical and Materials Transaction A*, Vol. 37, Pp. 1435-1442.
- Bouzerara, F., Boulanacer, S., & Harabi, A. 2015. Shaping of microfiltration (MF) ZrO<sub>2</sub> membranes using a centrifugal casting method. *Ceramic International*, Vol. 41, Pp. 5159–5163.
- Bouzerara, F., Harabi, A., & Condom, S. 2009. Porous ceramic membranes prepared from kaolin. *Desalination and Water Treatment*, Vol. 12, Pp. 415–419.

- Bouzerara, F., Harabi, A., Ghouil, B., Medjemem, N., Boudaira, B., & Condom, S. 2012. Elaboration and properties of zirconia microfiltration membranes. *Procedia Engineering*, Vol. 33, Pp. 278–284.
- Brown, M.E. 2004. Introduction to Thermal Analysis: Thermogravimetry (TG). *Hot Topics In Thermal Analysis And Calorimetry*, Vol 1. Springer, Dordrecht.
- Cao, J., Dong, X., Li, L., Dong, Y., & Hampshire, S. 2014. Recycling of waste fly ash for production of porous mullite ceramic membrane supports with increased porosity. *Journal of The European Ceramic Society*, Vol. 34, Pp. 3181–3194.
- Cao, P., Li, G., Luo, J., Rao, M., Jiang, H, Peng, Z., & Jiang, T. 2020. Alkali-reinforced hydrothermal synthesis of lathy tobermorite fibers using mixtures of coal fly ash and lime. *Construction and Building Materials*. Vol. 238, Pp. 117655.
- Charles J.P.S. 2010. *Teknologi Farmasi Sediaan Tablet Dasar-Dasar Praktis*. Isbn/Issn 978-979-044-027-2 : Egc.
- Consoli, N.C., Saklanda, R.B, Mallman, J.E.C., de Paula, T.M., & Hoch, B.Z. 2017. Enhancement of strength of coal fly ash-carbide lime blends through chemical and mechanical activation. *Construction and Building Materials*. Vol. 157, Pp. 65-74.
- Cui, J.Y., Zhang, X.F., Liu, H., Liu, S., & Yeung, K.L. 2008. Preparation and application of Zeolite/ceramic microfiltration membranes for treatment of oil contaminated water. *Journal of Membrane Science*, Vol. 325, Pp. 420–426.
- Daglar, H., & Keskin, S. 2018. Computational Screening of Metal–Organic Frameworks for Membran-Based CO<sub>2</sub>/N<sub>2</sub>/H<sub>2</sub>O Separations: Best Materials for Flue Gas Separation. *The Journal of Physical Chemistry*. Vol. 122, Pp. 17347–17357
- Damayanti, R. 2018. Coal Ash and Its Utilization: A Technical Review On Its Chemically Characteristics And Toxicology. *Jurnal Teknologi Mineral Dan Batubara*, Vol. 14 (3), Pp. 213 – 231.

- Diwan, V., Sar, S.K., Biswas, S., & Lalwani, R. 2020. Adsorption extraction of Uranium (VI) from aqueous phase by dolomite. *Groundwater for sustainable Development*, Vol. 11, Pp. 100424.
- Dong, Y., Lin, B., Wang, S., Xie, K., Fang, D., Zhang, X., Ding, H., Liu, X., & Meng, G. 2009. Cost-effective tubular cordierite micro-filtration membranes processed by co-sintering. *Journal of Alloys and Compounds*, Vol. 488, Pp. 35-40.
- Dong, Y., Liu, X., Ma, Q., & Meng, G. 2006. Preparation of cordierite-based porous ceramic micro-filtration membranes using waste fly ash as the main raw materials. *Journal of Membrane Science*, Vol. 285, Pp. 173–181.
- Dong, Y.C., Zhou, J.E., Lin, B., Wang, Y.Q., Wang, S.L., Miao, L.F., Lang, Y., Liu, X.Q., & Meng, G.Y. 2009. Reaction-sintered porous mineral-based mullite ceramic membrane supports made from recycled materials. *Journal of Hazardous Materials*, Vol. 172, Pp. 180–186.
- Fang, J., Qin, G., Wei, W., & Zhao, X. 2011. Preparation and characterization of tubular supported ceramic microfiltration membranes from fly ash. *Separation and Purification Technology*, Vol. 80, Pp. 585-591.
- Feng, J., Fan, Y., Qi, H., & Xu, N. 2007. Co-sintering synthesis of tubular bilayer  $\alpha$ -alumina membrane. *Journal of Membrane Science*, Vol. 288, Pp. 20-27.
- Feng, J., Qiu, M., Fan, Y., & Xu, N. 2007. The effect of membrane thickness on the co-sintering process of bi-layer  $ZrO_2/Al_2O_3$  membrane. *Journal of Membrane Science*, Vol. 305, Pp. 20-26.
- Foughali, L., Barama, S., Harabi, A., Bouzerara, F., Guechi, A., & Boudaira B. 2015. Effect of sodium phosphate addition on mechanical properties of porous Sique quartz sand. *Desalination and Water Treatment*, Pp. 1–6.
- Franco, R. A., Fathiah, M. K., Yang, H-M, & Lee, B.-T. 2012. On Stabilization of PVPA/PVA Electrospun Nanofiber Membrane

- and Its Effect on Material Properties and Biocompatibility. *Journal of Nanomaterial*, Pp. 1-9.
- Fung, E., & Wang, H. 2013. Investigation of reinforcement of porous alumina by nickel aluminate spinel for its use as ceramic membrane. *Journal of Membrane Science*, Vol. 444, Pp. 252-258.
- Fung, Y.-L. E., & Wang, H. 2014. Nickel aluminate spinel reinforced ceramic hollow fibre membrane. *Journal of Membrane Science*. Vol. 450, Pp.418–424.
- Ghouil, B., Harabi, A., Bouzerara, F., & Brihi, N. 2015. Elaboration and characterization of ceramic membrane supports from raw materials used in microfiltration. *Desalination and Water Treatment*, Pp. 1–5.
- Goren, R., Ozgur, C., & Gocmez, H. 2006. The preparation of cordierite from talc, fly ash, fused silica and alumina mixtures. *Ceramic International*, Vol. 32, Pp. 53–56.
- Harabi, A., Bouzerara, F., & Condom, S. 2009. Preparation and characterization of tubular membrane supports using centrifugal casting. *Desalination and Water Treatment*, Vol. 6, Pp. 222–226.
- Harabi, A., Zenikheri, F., Boudaira, B., Bouzerara, F., Guechi, A., & Foughali, L. 2014. A new and economic approach to fabricate resistant porous membrane supports using kaolin and CaCO<sub>3</sub>. *Journal of The European Ceramic Society*, Vol. 34, Pp. 1329–1340.
- Harris. 1992. *Poly Ethylene Glycol Chemistry Biotechnical and Biomedical Applications*. Plenum press: New york.
- Haryanti, N. H. 2014. Uji Abu Terbang Pltu Asam Asam Sebagai Bahan Pembuatan Bata Ringan. *Jurnal Fisika Flux*, Vol. 11 No. 2, Pp. 129–139.
- Jumaeri, Astuti & Lestari. W.T.P. 2007. Preparasi dan Karakterisasi Zeolit dari Abu Layang Batubara secara Alkali Hidrotermal. *Reactor*, Vol. 11 (1), Pp. 38-44. FMIPA UGM : Yogyakarta.

- Judistira, W. 2016. Aplikasi Proses-Proses Berbasis Membran Dengan Gaya Dorong Tekanan Dalam Pengolahan Air Dan Limbah. *Journal of Teknik Kimia*: ITB.
- Jung, J., Park, H., & Stevens, R. 2001. Mullite ceramics derived from coal abu layang. *Journal of Materials Science Letters*, Vol. 20, Pp. 1089–1091.
- Khemakhem, S., Ben, R.A., & Larbot, A. 2007. Synthesis and characterization of a new inorganic ultrafiltration membran composed entirely of Tunisian natural illite clay. *Desalination*, Vol. 206, Pp. 210–214.
- Koshy, N., Donbrob, K., Hu, L., Wen, Q., & Meegoda, J.N. 2019. Synthesis and characterization og geopolymers derived from coal ash gangue, fly ash and red mud. *Construction and Building Materials*. Vol. 206, Pp. 287-296.
- Li, K. 2007. *Ceramic membrans for separation and reaction*. John Wiley & Sons Ltd: England.
- Little, M., Adell, V., Boccaccini, A., & Cheeseman, C. 2008. Production of novel ceramic materials from coal fly ash and metal finishing wastes. *Resources, Conservation & Recycling*, Vol 52, Pp. 1329–1335.
- Liu, J, Dong, Y, Dong, X, Hampshire, S, Zhu, L, Zhu, Z, & Li, L. 2016. Feasible recycling of industrial waste coal fly ash for preparation of anorthite-cordierite based porous ceramic membrane supports with addition of dolomite. *Journal of the European Ceramic Society*. Vol. 36, Pp. 1059-1071.
- Malik, N., Bulasara, V.K., & Basu, S. 2020. Preparation of novel porous ceramic microfiltration membranes from fly ash, kaolin and dolomite mixtures. *Ceramics International*. Vol. 46, Pp. 6889-6898.
- Ma'ruf, A., Budiana, B., & Mulyadi, A.H. 2015. Pembuatan Dan Karakterisasi Membran Keramik Tio<sub>2</sub> Untuk Ultrafiltrasi.

Simposium Nasional Teknologi Terapan (SNTT)3, ISSN: 2339-028X.

Mulder, M. 1996. *Basic Principles of Membran Technology*. 2nd edition. Dordrecht : Kluwer Academic Publisher.

Notodarmojo, S. & Devia, A. 2004. Penurunan Zat Organik dan Kekeruhan Menggunakan Teknologi Membran Ultrafiltrasi dengan Sistem Aliran Dead-End. *Jurnal Penelitian: Jurusan Teknik Sipil dan Perencanaan Institut Teknologi Bandung*, Vol. 36, Pp. 63-82.

Palacio, L., Bouzerdi, Y., Ouammou, M., Albizane, A., Bennazha, J., Hernández, A., & Calvo, J.I. 2009. Ceramic membrans from Moroccan natural clay and phosphate for industrial water treatment. *Desalination*, Vol. 245, Pp. 501–507.

Pouranvari, S., Ebrahimi, F., Javadi, G., & Maddah, B. 2016. Chemical Cross-Linking of Chitosan/ Polyvinyl Alcohol Electrospun nanofibers. *Material and Technology*. Vol. 50 (5), pp. 663-666.

Qiu, M., Fan, S., Cai, Y., Fan, Y., & Xu, N. 2010. Co-sintering synthesis of bi-layer titania ultrafiltration membranes with intermediate layer of sol-coated nanofibers. *Journal of Membrane Science*, Vol. 365, Pp. 225-231.

Ren, X., Liu, S., Qu, R., Xiao, R., Xiao, L., Hu, P., Song, H., Wu, W., Zheng, C., Wu, X., & Gao, X. 2020. Synthesis and characterization of single-phase submicron zeolite Y from coal fly ash and its potensial application for acetone adsorption. *Microporous and Mesoporous Materials*. Vol. 295, Pp. 109940.

Samaei, S.M., Gato-Trinidad, S., & Altaee, A. 2018. The application of pressure-driven ceramic membrane technology for the treatment of industrial wastewaters—a review. *Separation and Purification Technology*. 200, Pp. 198–220.

Sasaki, K., Qiu, X., Hosomomi, Y., Moriyama, S., & Hirajima T. 2013. Effect of natural dolomite calcination temperature on sorption

of borate onto calcined products. *Microporous Mesoporous Material*, Vol. 171, Pp. 1–8.

Shalumon, K. T., Anulekha, K. H., Nair, S. V., Chennazhi, K. P, & Jayakumar, R. 2011. Sodium Alginate/ Poly (vinyl alcohol) / Nano ZnO Composite Nanofibers for Antibacterial Wound Dressings. *International journal of Biological macromolecules*. Vol. 49, Pp. 247-254.

Shargel, L., & Yu, A.B.C. 2005. *Biofarmasetika and Farmakokinetika Terapan Edisi II*. Surabaya: Airlangga University Press.

Shizari, E. K., Metzger, J.W., Fischer, K., & Hassani, A.H. 2019. Crystallization behaviour and mechanical properties of high open porosity dolomite hollow microspheres filled hybrid geopolymer foams. *Cement and Concrete Composites*. Vol. 234, Pp. 618-629.

Sujatno, A., Salam, R., Bandriyana, & Dimyat, A. 2015. Studi Scanning Electron Microscopy (Sem) Untuk Karakterisasi Proses Oksidasi Paduan Zirkonium. *Jurnal Forum Nuklir (JFN)*

Suprihatin, E., Zaharah, T. A., & Wahyuni, N. 2015. Pembuatan Membran Silika Dari Fly Ash Dan Aplikasinya Untuk Menurunkan Kadar Cod Dan Bod Limbah Cair Kelapa Sawit. *Jurnal Kimia Khatulistiwa MIPA UNTAN*, Vol. 4(3), Pp. 48-53.

Tanaka, H. 2002. Formation of Na-A and Na-X Zeolites from Waste Solutions in Conversion of Coal fly ash to Zeolites. *Materials Research Bulletin*, Vol. 37 (11), Pp. 1873-1884.

Veronese, F. M. & Caliceti, P. 2006. *Pharmacokinetics and Pharmacodynamics of Biotech Drugs: Principles and Case Studies In Drug Development*. Meibohm: Wiley-Ch Weinheim, Pp. 272-273.

Wang, S., Tian, J., Wang, Q., Zhao, Z., Cui, F., & Li, G. 2019. Low-temperature sintered high-strength CuO doped ceramic hollow fiber membrane: preparation, Characterization and catalytic

- activity. *Journal of Membrane Science*. Vol. 570-571, Pp. 333-342.
- Wenten, I.G. 2000. *Teknologi Membran Industrial*. Bandung: Penerbit ITB.
- Wicaksono, D. W., Setiawan, N. I., Wilopo, W., & Harijoko, A. 2017. Teknik Preparasi Sampel Dalam Analisis Mineralogi Dengan Xrd (X-Ray Diffraction) Di Departemen Teknik Geologi, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada. *Proceeding, Seminar Nasional Kebumian Ke-10 Peran Ilmu Kebumian Dalam Pembangunan Infrastruktur di Indonesia*, Pp. 1864-1880.
- Yang, L., Li, D., Zhang, L., Yan, X., Ran, J., Wang, Y & Zhang, H. 2020. On the utilization of waste fried oil as flotation collector to remove carbon from coal fly ash. *Waste Management*. Vol. 113, Pp. 62-69.
- Yu, J., Qian, J., Wang, F., Qin, J., Dai, X., You, C., & Jia, X. 2020. Study of using dolomite ores as raw materials to produce magnesium phosphate cement. *Construction and Building Materials*. Vol. 253, Pp. 119147.
- Zhang, T., Chen, Y., Wang, Y., Roux, J.L., Yang, Y., & Croué, J.P. 2014. Efficient peroxydisulfate activation process not relying on sulphate radical generation for water pollutant degradation. *Environmental Science & Technology*, Vol, 48, Pp. 5868-5875.
- Zou, D., Qiu, M., Chen, X., Drioli, E., & Fan, Y. 2019. One Step Co-sintering Process for Low-cost Fly Ash Based Ceramic Microfiltration Membrane in Oil-in-Water Emulsion Treatment. *Separation and Purification Technology*, Vol. 210, Pp. 511-520.