

**PEMBUATAN
MEMBRAN KERAMIK
DARI ZEOLIT ALAM DAN TANAH LIAT
DAN APLIKASINYA**

KUTIPAN PASAL 72:

Ketentuan Pidana Undang-Undang Republik Indonesia
Nomor 19 Tahun 2002 Tentang HAK CIPTA

1. Barang siapa dengan sengaja dan tanpa hak melakukan perbuatan sebagaimana dimaksud dalam Pasal 2 ayat (1) atau Pasal 49 ayat (1) dan ayat (2) dipidana dengan pidana penjara masing-masing paling singkat 1 (satu) bulan dan/atau denda paling sedikit Rp 1.000.000,00 (satu juta rupiah), atau pidana penjara paling lama 7 (tujuh) tahun dan/atau denda paling banyak Rp 5.000.000.000,00 (lima milyar rupiah).
2. Barang siapa dengan sengaja menyiarkan, memamerkan, mengedarkan, atau menjual kepada umum suatu ciptaan atau barang hasil pelanggaran Hak Cipta atau Hak Terkait sebagaimana dimaksud dalam ayat 1, dipidana dengan pidana penjara paling lama 5 (lima) tahun dan/atau denda paling banyak Rp 500.000.000,00 (lima ratus juta rupiah).

PEMBUATAN MEMBRAN KERAMIK DARI ZEOLIT ALAM DAN TANAH LIAT DAN APLIKASINYA

**Dr. Anwar Ma'ruf, ST., MT.
M. Agus Salim Al Fathoni, ST., MT.
Agus Mulyadi Purnawanto, SP., MP.**

Perpustakaan Nasional: Katalog Dalam Terbitan (KDT)
PEMBUATAN MEMBRAN KERAMIK DARI ZEOLIT ALAM DAN
TANAH LIAT DAN APLIKASINYA

Copyright © Penulis

Diterbitkan pertama kali oleh Penerbit UM Purwokerto Press tahun 2019.

Hak cipta dilindungi oleh undang-undang All Rights Reserved

Hak Penerbitan pada penerbit UM Purwokerto Press tahun 2019

Dilarang mengutip atau memperbanyak sebagian atau seluruh isi buku ini tanpa izin tertulis dari Penerbit

Cetakan Pertama: November 2019

x+88 hlm, 15.5 cm x 23.5 cm

ISBN: 978-602-6697-40-0

Penulis : Dr. Anwar Ma'ruf, ST., MT.
M. Agus Salim Al Fathoni, ST., MT.
Agus Mulyadi Purnawanto, SP., MP.

Editor : Dr. Sriyanto

Ilustrasi Sampul : Dr. Anwar Ma'ruf, ST., MT.

Perancang Sampul : Dr. Anwar Ma'ruf, ST., MT.

Penata Letak : Dhi Brahmasta

Penerbit

UM Purwokerto Press (Anggota APPTI)

Jalan Raya Dukuh Waluh, PO BOX 202, Purwokerto 53182 Tlp. (0281)

636751, 6304863; Ext. 474

Fax: (0281) 637239

E-mail : ump.press@gmail.com

website: www.lpip.ump.ac.id

PENGANTAR PENULIS

Assalaamu'alaikum wr wb.

Segala puji bagi Allah SWT, atas karunia-Nya penulis dapat menyelesaikan buku dengan judul Pembuatan Membran Keramik dari Zeolit Alam dan Tanah Liat dan Aplikasinya. Tujuan penulisan buku ini adalah agar dapat dijadikan sebagai referensi untuk pengembangan membran keramik yang berasal dari bahan alam dan aplikasinya pada berbagai bidang.

Indonesia adalah negara dengan sumber daya alam yang sangat berlimpah, terutama bahan tambang, seperti tanah liat, batu kapur, fieldspar, kaolin, bentonit, dan lain-lain. Bahan-bahan tambang tersebut dapat dimanfaatkan lebih sebagai bahan baku pembuatan membran keramik. Membran keramik memiliki kelebihan jika dibandingkan dengan membran polimer, yaitu memiliki stabilitas thermal dan stabilitas kimia yang lebih baik. Membran keramik dari bahan alam dapat digunakan pada berbagai aplikasi seperti untuk pengolahan limbah, pengolahan air bersih, industri pengolahan makanan dan minuman, desalinasi air laut dan lain-lain.

Penelitian lanjut tentang pemanfaatan bahan alam untuk bahan baku pembuatan membran keramik perlu terus dilakukan terutama untuk menentukan komposisi bahan dan bahan aditif untuk mendapatkan membran keramik yang kuat dan tidak mudah retak. Selain itu, perlu dikembangkan juga bentuk

membran keramik untuk mendapatkan fluks membran yang besar dengan koefisien rejeksi yang besar juga.

Penulis menyadari bahwa dalam penulisan buku ini masih banyak kekurangan. Oleh karena itu, masukan-masukan dari pembaca sangat diharapkan untuk penyempurnaan buku ini.

Wassalaamu'alaikum wr wb.

Penulis

DAFTAR ISI

PENGANTAR PENULIS	v
DAFTAR ISI	vii
BAB I	
TEKNOLOGI MEMBRAN.....	1
A. Perkembangan Teknologi Membran	1
B. Membran Keramik.....	3
BAB II	
BAHAN BAKU ALAM PADA PEMBUATAN	
MEMBRAN KERAMIK.....	7
A. Zeolit Alam.....	7
B. Tanah Liat	10
C. Material Pembentuk Pori	14
BAB III	
PEMBUATAN DAN KARAKTERISASI	
MEMBRAN KERAMIK	17
A. Pembuatan Membran Keramik	17
B. Karakteristik Membran Keramik	21

BAB IV

KARAKTERISTIK MEMBRAN KERAMIK

DARI ZEOLIT ALAM 37

A. Pengaruh Temperatur Sintering Terhadap Sifat

Fisik Membran Keramik 37

B. Morfology membran keramik..... 42

BAB V

APLIKASI MEMBRAN KERAMIK HYBRID DARI

TANAH LIAT-TiO₂ UNTUK PENGOLAHAN LIMBAH

ZAT WARNA 45

A. Pendahuluan 45

B. Sintesis Membran Keramik dari Tanah Liat - TiO₂..... 47

C. Karakteristik Membran Keramik Tanah Liat-TiO₂ 47

D. Sintesis Membran Komposit 50

E. Karakteristik Membran Hybrid Tanah Liat-TiO₂

dan PVA 51

F. Aplikasi Membran Hybrid untuk Penghilangan

Zat Warna 54

BAB VI

APLIKASI MEMBRAN KERAMIK HYBRID DARI ZEOLIT

ALAM PADA PENGOLAHAN LIMBAH LAUNDRY 59

A. Pendahuluan 59

B. Spesifikasi Membran..... 62

C. Fluks Membran..... 64

D. Rejeksi..... 67

E. *Fouling* Membran 69

F. Analisis BOD dan COD 71

BAB VII

APLIKASI MEMBRAN HIBRID DARI ZEOLIT ALAM-PVA

UNTUK DESALINASI AIR LAUT	75
A. Pendahuluan	75
B. Spesifikasi Membran	77
C. Fluks dan Rejeksi Membran pada Desalinasi Air Laut....	78
D. Tahanan <i>Fouling</i> pada Desalinasi Air Laut	79
 Daftar Pustaka	 81
Indeks.....	85
Biodata Penulis.....	87

TEKNOLOGI MEMBRAN

A. Perkembangan Teknologi Membran

Membran didefinisikan sebagai suatu media berpori, berbentuk film tipis, bersifat semipermeable yang berfungsi untuk memisahkan partikel dengan ukuran molekuler (spesi) dalam suatu sistem larutan. Spesi yang memiliki ukuran yang lebih besar dari pori membran akan tertahan sedangkan spesi dengan ukuran yang lebih kecil dari pori membran akan lolos menembus pori membran. Proses pemisahan dengan membran dapat terjadi karena adanya perbedaan ukuran pori, bentuk, serta struktur kimianya. Membran demikian biasa disebut sebagai membran semipermeable, artinya dapat menahan spesi tertentu, tetapi dapat melewatkan spesi yang lainnya. Fasa campuran yang akan dipisahkan disebut umpan (*feed*), hasil pemisahan disebut sebagai *permeat*.

Membran merupakan salah satu teknologi alternatif yang banyak digunakan pada saat ini, terutama dalam proses pemisahan dan pemurnian. Teknologi membran ini digunakan sebagai pengganti dari proses pemisahan konvensional yang masih banyak digunakan. Hal ini disebabkan karena teknologi membran ini lebih ramah lingkungan dan juga hemat dalam

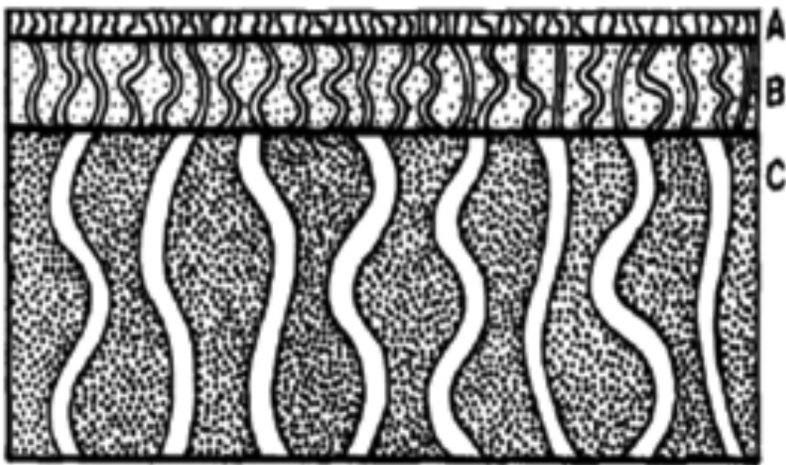
penggunaan energi. Teknologi membran berkembang dengan pesat, dan seiring dengan berjalannya waktu metode ini mengalami beberapa penyempurnaan. Membran merupakan lapisan tipis antara dua fasa fluida yang bersifat penghalang (barrier) terhadap suatu spesi tertentu, yang dapat memisahkan zat dengan ukuran berbeda, serta membatasi transport dari berbagai spesi berdasarkan sifat fisik dan kimianya. Oleh karena itu, membran tergolong sebagai clean technology. Selain itu pemisahan dapat berlangsung kontinyu dan tidak terlalu banyak membutuhkan energi (Mulder, 1996).

Teknologi membran dikenal sebagai teknologi proses yang mempunyai efektivitas biaya, operasi sederhana dan efisiensi energi tinggi. Investigasi awal terhadap teknologi ini mulai dari hewan seperti babi, sapi atau ikan, dan sosis selubung yang terbuat dari usus binatang. Namun, penyelidikan ini tidak bisa diteruskan lebih lanjut karena produk yang tidak dapat direproduksi. Pada tahun 1907, Bechhold memperkenalkan membran selulosa nitro dengan ukuran pori bergradasi dan penemuan ini telah diperbaiki oleh orang lain. Pada awal 1930-an, membran mikro dari selaput kolodion siap diproduksi dan secara komersial telah tersedia di pasar. Selama lebih dari 30 tahun, teknologi membran mikrofiltrasi awal ini diperluas ke membran dari bahan polimer lain, terutama selulosa asetat, dimana membran asimetris struktur dibuat menggunakan teknik inversi fase oleh Loeb dan Sourirajan. Saat ini, membran dari berbagai bahan polimer secara luas telah dikomersialkan di seluruh dunia (Baker, 2004).

Namun, karena sifat membran polimer yang tidak mampu untuk bertahan dalam kondisi yang keras seperti suhu tinggi dan bahan kimia yang parah lingkungan, banyak perhatian telah difokuskan pada keramik membran yang memiliki karakteristik unggul untuk jangka panjang.

B. Membran Keramik

Membran keramik pertama kali ditemukan untuk filtrasi bir, pemulihan ekstrak dan pemisahan gas pada tahun 1960 dengan menggunakan membran keramik berpori. Secara umum, membran keramik dapat dibagi menjadi dua jenis yaitu; (i) membran keramik berpori dan (ii) membran keramik tak berpori (dense). Membran keramik berpori mendapat banyak perhatian terutama pada aplikasi pengolahan air dan untuk digunakan sebagai bahan pendukung (support). Biasanya, membran keramik memiliki struktur multilayer satu atau lebih bahan keramik yang berbeda, yang disebut struktur asimetris. Struktur multi layer membran keramik terdiri dari pendukung (support) macroporous yang menyediakan dukungan mekanik, satu atau dua lapisan antara mesopori dan mikropori (dense). Proses pemisahan yang sebenarnya terjadi pada lapisan mikropori.

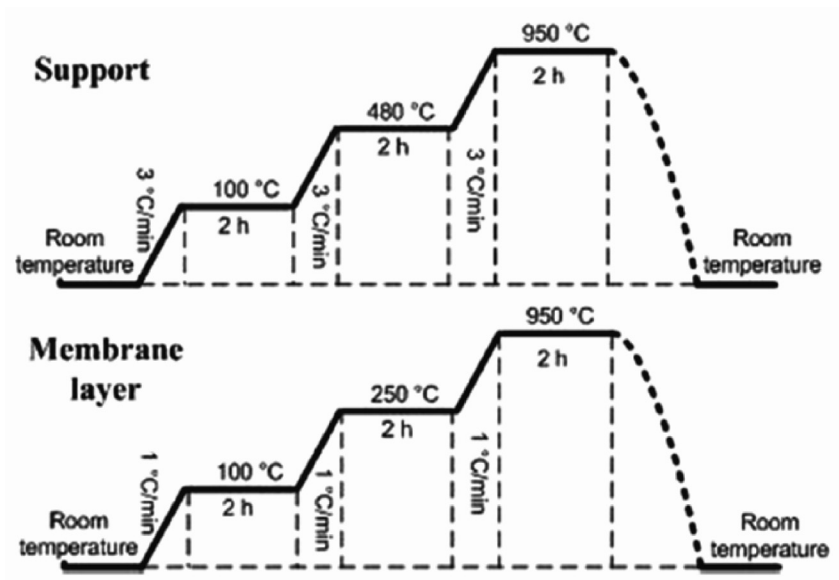


Gambar 1.1. Struktur multilayer membran keramik (Issaoui & Limousy, 2019)

Salah satu keunggulan utama membran keramik adalah memiliki kemampuan untuk bertahan pada lingkungan yang sangat agresif, seperti larutan yang sangat asam dan tahan pada

temperatur tinggi. Membran keramik komersial biasanya terbuat dari bahan oksida logam dan sebagian besar bahan keramik yang biasa digunakan adalah Al_2O_3 , TiO_2 , ZrO_2 atau kombinasi dari oksida logam tersebut. Sampai saat ini, keramik yang dikomersialkan membran diproduksi dari alumina. Hal ini karena karena sifat stabilitas struktural, kimia, dan termal yang sangat baik. Akan tetapi, keramik membran dari alumina menunjukkan kelemahan karena memerlukan suhu sintering yang tinggi (hingga 1500°C) karena itu kompromi antara kekuatan mekanik dan porositas harus dibuat pada saat pembuatan membran dari bubuk alumina yang berukuran mikrometer.

Oleh karena proses sintering yang dilakukan pada temperatur yang tinggi dan harga bubuk alumina yang sangat mahal, membuat membran keramik harganya relative mahal. Oleh karena itu, untuk menekan biaya produksi membran keramik dengan menggunakan bahan alam, terutama menggunakan tanah liat sebagai bahan baku membran keramik. Ada banyak jenis tanah liat di bumi seperti kaolin dan bentonit. Bauksit dan diaspor juga dikategorikan sebagai berbagai jenis tanah liat yang mengandung alumina cukup tinggi. Semua jenis tanah liat ini memiliki komposisi yang berbeda tergantung pada perbedaan kondisi geologi. Kaolin adalah yang tanah liat utama yang dibentuk oleh pelapukan, kasar dalam ukuran partikel dan non-plastik dibandingkan dengan tanah liat lainnya.



Gambar 1.2. Profil temperatur proses sintering pembuatan membran keramik (Achiou et al., 2017)

BAHAN BAKU ALAM PADA PEMBUATAN MEMBRAN KERAMIK

A. Zeolit Alam

Zeolit merupakan material yang memiliki banyak kegunaan, Zeolit telah banyak diaplikasikan sebagai adsorben penukar ion dan katalis. Zeolit adalah mineral kristal alumina silikat tetra hidrat berpori yang mempunyai struktur kerangka tiga dimensi, terbentuk oleh tetrahedral $[\text{SiO}_4]^{4-}$ dan $[\text{AlO}_4]^{5-}$ yang saling terhubung oleh atom-atom oksigen sedemikian rupa, sehingga membentuk kerangka tiga dimensi terbuka yang mengandung kanal-kanal dan rongga-rongga yang didalamnya terisi oleh ion-ion logam, biasanya adalah logam-logam alkali atau alkali tanah dan molekul air yang bergerak bebas.

Zeolit alam merupakan mineral yang tersedimentasi di alam yang merupakan persenyawaan aluminosilicates yang membentuk kerangka struktur tiga dimensi antara AlO_4 dan SiO_4 tetrahedral. Zeolit alam merupakan bahan yang cocok dalam fabrikasi membran keramik karena sifatnya yang tidak mudah mengembang dalam air dan mudah membentuk suspensi untuk melapisi membran sebagai support.

Proses terbentuknya zeolit alam karena, adanya proses kimia dan fisika yang mengalami berbagai macam perubahan di alam. Para ahli geokimia dan mineralogi memperkirakan bahwa zeolit merupakan produk gunung berapi yang membeku menjadi batuan vulkanik, batuan sedimen dan batuan metamorfosa yang selanjutnya mengalami proses pelapukan karena pengaruh panas dan dingin sehingga akhirnya terbentuk mineral-mineral zeolit. Anggapan lain menyatakan proses terjadinya zeolit berawal dari debu-debu gunung berapi yang berterbangan, kemudian mengedap di dasar danau dan dasar lautan. Debu – debu vulkanik tersebut selanjutnya mengalami berbagai macam perubahan oleh air laut, sehingga terbentuk sedimen-sedimen yang mengandung zeolit di dasar danau atau laut tersebut (Lestari, 2010). Jenis zeolit alam dibedakan menjadi dua kelompok, yaitu:

- a. Zeolit yang terdapat di antara celah-celah batuan atau di antara lapisan. Batuan zeolit jenis ini biasanya terdiri dari beberapa jenis mineral zeolit bersama-sama dengan mineral lain seperti: kalsit, kwarsa, renit, klorit, fluorit, dan mineral sulfida.
- b. Zeolit yang berupa batuan: hanya sedikit jenis zeolit yang berbentuk batuan, diantaranya adalah: klinoptilolit, analsim, laumontit, mordenit, filipsit, erionit, kabasit, dan heulandit

Sifat zeolit tidak mengalami perubahan struktur yang berarti bila dipanaskan pada suhu tinggi serta tahan terhadap oksidasi dan reduksi. Pada pemanasan 600°C , sebagian zeolit tidak memberikan perubahan posisi ion dalam kristal dan tidak menyebabkan perubahan struktur. Beberapa jenis zeolit tahan terhadap perlakuan kimia pada $\text{pH} < 3$ dan $\text{pH} > 12$. Ketahanan radiasi zeolit juga sangat baik, misalnya klinoptilolit dengan tingkat radiasi $10^6 - 10^{10}\text{rad}$ tidak mengalami perubahan struktur.

Tabel 2.1. Analisis proksimat zeolit alam

Komponen	Prosentase
SiO ₂	81,64
Al ₂ O ₃	12,22
Fe ₂ O ₃	2,02
CaO	5,04
MgO	0,73
K ₂ O	2,9
Na ₂ O	2,29
NA ₂ OEQ	4,2
Cl	0,01
SO ₃	0
SAF	95,88

Zeolit mempunyai sifat – sifat kimia diantaranya:

1. Penyerapan

Zeolit dengan struktur rangka tiga dimensi akan mempunyai luas permukaan yang besar sehingga memungkinkan zeolit dapat menyerap (absorpsi) molekul gas pada posisi molekul air dalam kristal zeolit. Kemampuan absorpsi ini tidak hanya ditentukan ukuranpartikel, tetapi juga oleh muatan dan lokasi kation yang berada dalam rongga zeolit.

Zeolit perlu diaktivasi untuk menguapkan molekul air sebelum dipakai sebagai absorben.

2. Katalis

Zeolit yang mempunyai saluran “uniform” akan dapat melewati ion/molekul reaktan kedalam saluran zeolit (molecular sieving), dan pada larutan tersebut terdapat gugusan katalitik yang dapat mempengaruhi reaksi reaktan yang melewatinya.

3. Penyaringan / Pemisahan

Zeolit sebagai penyaringan maupun pemisah didasarkan atas perbedaan bentuk, ukuran, dan polaritas molekul yang disaring. Sifat ini disebabkan zeolit mempunyai ruang hampa yang cukup besar. Molekul yang berukuran lebih besar dari ruangan hampa akan ditahan, sedangkan molekul yang mempunyai ukuran kurang dari ruang hampa dapat melintas.

4. Penukar Ion

Ion – ion pada rongga berguna untuk menjaga kenetralan zeolit. Ion – ion ini dapat bergerak bebas sehingga penukaran ion yang terjadi tergantung dari ukuran dan muatan maupun jenis zeolitnya. Sifat sebagai penukar ion dari zeolit antara lain tergantung dari sifat kation, suhu, dan jenis anion.

5. Dehidrasi

Zeolit mempunyai sifat dehidrasi yang berpengaruh terhadap sifat serapannya. Keunikan zeolit terletak pada struktur porinya yang spesifik. Pada zeolit alam didalam pori – porinya terdapat kation – kation atau molekul H_2O . Bila kation – kation atau molekul H_2O tersebut dikeluarkan dari dalam pori dengan suatu pelakuan tertentu maka zeolit akan meninggalkan pori yang kosong.

B. Tanah Liat

Tanah liat (*clay*) atau lempung adalah partikel mineral berkerangka dasar silikat yang berdiameter kurang dari 4 mikrometer. Tanah liat mengandung leburan silika dan alumunium yang halus. Tanah liat terbentuk dari proses pelapukan batuan silika oleh asam karbonat dan sebagian dihasilkan dari aktifitas panas bumi. Tanah liat membentuk gumpalan keras saat kering dan lengket apabila basah terkena air. Sifat ini ditentukan oleh jenis mineral lempung yang mendominasinya.

Tanah liat merupakan jenis tanah yang terbentuk dari proses pelapukan kerak bumi. Kerak bumi tersebut sebagian

disusun oleh batuan feldspatik (yakni batuan yang terdiri dari batuan granit dan juga batuan beku). Kerak bumi yang melapuk tersebut terdiri atas berbagai unsur seperti silikon, oksigen dan aluminium sebagai unsur terbanyak. Kemudian aktivitas panas dari bumi membuat kerak bumi tersebut melapuk yang dilakukan oleh asam karbonat. Proses inilah yang menjadikan terbentuknya tanah liat.

Tanah liat mempunyai beberapa ciri khusus yang membedakannya dengan jenis tanah lainnya. Ciri-ciri dari tanah liat antara lain sebagai berikut:

a. Mempunyai Sifat Liat atau Lengket

Ciri yang paling khas yang menandai tanah liat ini dilihat dari sifat tanah liat ini. Tanah liat umumnya berbentuk sebagai gumpalan yang keras ketika tanah tersebut kering. Namun ketika tanah tersebut terkena basah oleh air, maka akan terasa lengket. Hal ini bisa terjadi karena kandungan jenis mineral lempung yang banyak terkandung dalam tanah tersebut. Sifat lengket inilah yang membuat tanah liat mudah dijadikan bentuk-bentuk tertentu.

b. Mempunyai Sifat yang Sulit Menyerap Air

Satu sifat yang dimiliki oleh tanah liat atau lempung, yakni sulit untuk menyerap air. Karena jenis tanah ini sulit untuk menyerap air, maka daerah yang memiliki tanah liat ini tidak cocok digunakan sebagai lahan pertanian. Hal ini karena lahan pertanian sendiri membutuhkan lapisan tanah yang memiliki sifat mudah menyerap air.

c. Tanah dapat Terpecah Menjadi Butiran-butiran Sangat Halus Saat Keadaan Kering

Tanah liat meskipun ketika basah bersifat lengket dan butiran tanah satu dengan lainnya bersifat menyatu, namun ketika dalam keadaan kering tanah ini dapat terpecah-pecah menjadi

butiran-butiran yang halus, bahkan sangat halus menyerupai pasir atau kumpulan debu.

d. Tanahnya Berwarna Coklat atau Hitam Keabu- abuan

Tanah liat mempunyai warna tanah yang tidak gelap dan tidak tidak terlalu terang. Dengan kata lain, tanah liat ini mempunyai warna yang coklat cenderung keabu- abuan.

e. Merupakan Bahan Baku untuk Membuat Kerajinan Tangan Berupa Gerabah atau Tembikar

Karena tanah liat ini memiliki sifat yang lengket, maka tanah liat ini dijadikan sebagai bahan baku untuk membuat berbagai kerajinan tangan seperti gerabah dan juga tembikar. Untuk membuat kerajinan seperti ini, tanah liat harus dibakar dalam suhu di atas 10.000 °C agar dapat mengeras dengan baik.

Jenis- Jenis Tanah Liat

Tidak seperti jenis tanah lainnya, ternyata tanah liat ini dipecah menjadi beberapa jenis lagi. Sehingga ada beberapa jenis dari tanah liat yang dapat kita temui. Jenis- jenis tanah liat ini dibedakan menurut beberapa karakteristik. Jenis- jenis tanah liat dilihat dari sifatnya, dibagi menjadi:

1. Tanah Liat Primer

Tanah liat primer (tanah liat residu) merupakan jenis tanah liat yang terbentuk dari pelapukan batuan feldspatik dan dilakukan oleh tenaga endogen yang tidak berpindah dari batuan induk atau batuan asalnya. Karena jenis tanah ini tidak berpindah tempat, maka tanah ini mempunyai sifat yang lebih murni. Oleh karena sifatnya yang murni ini, maka tanah liat jenis ini dinamakan tanah liat primer.

Proses pembentukan tanah liat primer ini dibantu oleh beberapa komponen, diantaranya adalah tenaga air, dan tenaga

uap panas yang keluar dari dalam perut bumi. Tanah liat primer ini mempunyai warna tanah yang putih kusam. Hal ini terjadi karena tanah ini tidak terbawa oleh arus air dan tidak tercampur dengan bahan organik lainnya seperti humus, ranting, atau dedaunan yang busuk dan sebagainya. Hal inilah yang membuat tanah liat primer ini berwarna putih atau putih kusam.

- Memiliki butiran yang kasar.
- Biasanya berada pada tempat yang lebih tinggi.
- Memiliki sifat tidak plastis.
- Mempunyai daya lebut yang tinggi.
- Mempunyai sifat daya susut yang kecil.
- Mempunyai sifat tahan akan panasnya api.

Suhu matang dari tanah liat primer ini berkisar antara 1300°C hingga 1400°C. Bahkan ada yang mencapai 1750 °C. Maka dari itu untuk mematangkan tanah liat primer ini, dibutuhkan api yang sangat besar.

2. Tanah Liat Sekunder

Jenis tanah liat selanjutnya menurut sifatnya adalah tanah liat sekunder. Tanah liat sekunder atau batuan sedimen (endapan) merupakan jenis tanah liat yang terbentuk dari hasil pelapukan batuan feldspatik yang berpindah dengan jarak yang jauh dari batuan induknya. Pelapukan ini terjadi karena disebabkan oleh tenaga eksogen yang menyebabkan butiran-butiran dari tanah liat ini menjadi lepas dan mengendap di daerah yang rendah, seperti sungai, rawa, ataupun tanah danau.

Secara umum, tanah liat sekunder ini mempunyai ciri- ciri sebagai berikut:

- Mempunyai warna yang muda, yakni krem, coklat, abu-abu, merah jambu, kuning, kuning muda, kuning kecoklatan,

kemerah-merahan, hingga kehitam-hitaman. Hal ini karena tanah liat sekunder ini terbentuk dalam proses yang panjang dan bercampur dengan berbagai jenis tanah lainnya dan mengendap jadi satu, serta bercampur dengan bahan-bahan pengotor, maka menghasilkan tanah liat yang berwarna terang seperti ini.

- Mempunyai sifat cenderung berbutir halus. Tanah liat sekunder ini memiliki bentuk butiran-butiran yang halus. Hal ini terjadi karena tanah liat sekunder ini terbentuk melalui proses yang panjang. Dan dalam proses yang panjang ini, tanah liat ini bercampur dengan tanah jenis lainnya.
- Mempunyai sifat plastis.
- Mempunyai sifat kurang murni bila dibandingkan dengan tanah liat primer.
- Mempunyai daya susut yang tinggi.
- Mempunyai sifat tahan api yang lebih rendah daripada tanah liat primer. Suhu bakar yang dimiliki oleh tanah liat sekunder ini antara 1200°C hingga 1300°C, atau yang tertinggi mencapai 1400°C. Suhu bakar rendah diantara 900°C hingga 1180°C, dan yang paling tinggi sebesar 1200°C.

C. Material Pembentuk Pori

Selain bahan utama seperti zeolit alam dan tanah liat, pada proses pembuatan membran keramik juga perlu penambahan zat yang berfungsi sebagai pembentuk pori. Material pembentuk pori ini dapat berupa bahan kimia seperti urea, maupun polimer, baik polimer dari alam maupun polimer sintetis. Polimer dari alam yang banyak dikembangkan untuk pebentuk pori pada pembuatan membran keramik adalah jenis pati, seperti pati jagung, pati beras, pati gandum, dll.). Pati secara luas digunakan sebagai bahan untuk menghasilkan porositas dalam keramik karena mereka membentuk pori-pori selama pembakaran sekitar 500 °C (Elomari *et al.*, 2017).

Tabel 2.2. Analisis proksimat tanah liat

Komponen	Prosentase
SiO ₂	44,65
Al ₂ O ₃	19,81
Fe ₂ O ₃	8,99
CaO	4,34
MgO	1,29
K ₂ O	0,528
Na ₂ O	0,71
NA ₂ OEQ	1,06
Cl	0,01
SO ₃	0
SAF	73,45

PEMBUATAN MEMBRAN KERAMIK DAN KARAKTERISASI MEMBRAN KERAMIK

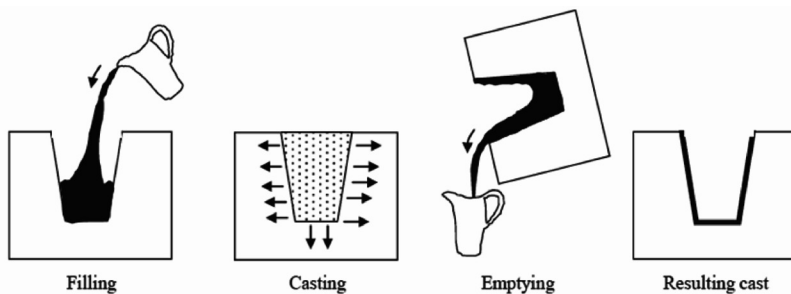
A. Pembuatan Membran Keramik

Pembuatan membran keramik dapat dilakukan dengan dengan metode basah dan metode kering. Metode basah dilakukan dengan penambahan air dengan kadar tertentu ke dalam campuran bahan, kemudian di cetak (casting) pada alat pencetak kemudian di bakar. Sedangkan metode kering (tanpa adanya penambahan air) dilakukan dengan pencetakan dan pengepresan campuran bahan pada kondisi kering.

Secara umum pembuatan membran keramik dapat dilakukan di tiga langkah: langkah pertama terdiri dari pembentukan partikel suspensi, langkah kedua terdiri dalam membentuk suspensi partikel menjadi prekursor membran dengan geometri yang diinginkan, dan langkah terakhir terdiri dalam memanaskan (sintering) prekursor membran. Support membran keramik dapat dibuat menggunakan berbagai metode tergantung pada persyaratan aplikasi, struktur membran yang diinginkan, dan bahan khusus. Proses pembuatan yang paling umum adalah *slip casting*, *tape casting*, *pressing*, *extrusion*, dan membekukan casting (Issaoui & Limousy, 2019).

1. Slip Casting

Slip casting adalah teknik yang sederhana dan ekonomis digunakan untuk persiapan membran keramik canggih. Metode ini telah digunakan sejak lama di industri keramik tradisional. Metode ini memiliki kelebihan membentuk geometri yang kompleks dan tidak teratur bentuk dan juga mencapai homogenitas material yang baik. Suspensi partikel yang tercampur dengan baik kemudian dituangkan ke dalam cetakan berpori, sehingga pelarut dapat berdifusi melalui pori-pori karena aksi aliran kapiler, membentuk lapisan cake oleh presipitasi partikel di internal permukaan cetakan, diikuti oleh langkah konsolidasi cepat lapisan partikel untuk menghindari penetrasi partikel melalui cetakan. Metode ini telah banyak diterapkan untuk membuat membran keramik dari berbagai bahan alam, seperti dari kaolin dan fly ash. Umumnya, membran keramik disiapkan oleh slip casting akan menghasilkan membran keramik yang memiliki sifat permeasi yang tinggi, menghasilkan ukuran pori yang lebih kecil dan ketebalan yang lebih tipis.

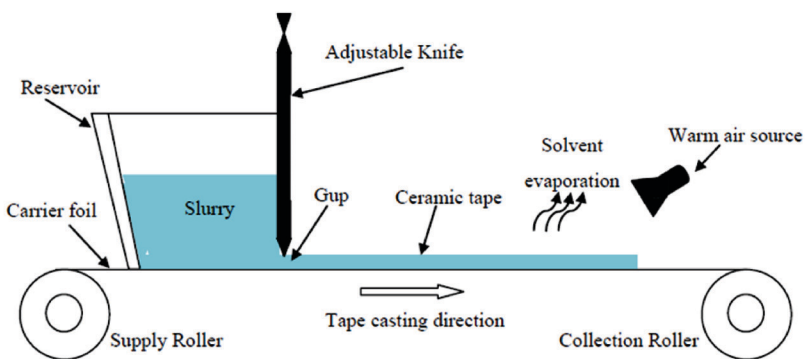


Gambar 3.1. Pembuatan membran keramik dengan metode slip casting (Issaoui & Limousy, 2019)

2. Tape Casting

Metode tape casting adalah teknik fabrikasi yang banyak digunakan dalam produksi lembaran keramik tipis dan halus.

Teknik ini, yang diperkenalkan oleh Glen N Howatt di pertengahan 1940-an selama Perang Dunia Kedua untuk produksi bahan piezoelektrik tipis. Metode tape casting telah dikenal sejak lama pada produksi membran keramik. Teknik ini dilakukan dengan menuangkan suspensi bubuk ke tangki reservoir, yang kemudian dilewatkan pada aliran di bawah pisau casting yang dapat disesuaikan yang mengontrol ketebalan lapisan cor, ditentukan oleh celah antara pisau dan pembawa bergerak. Setelah itu, pita keramik yang diperoleh kemudian melewati zona pengeringan untuk penguapan pelarut dari permukaan membran. Membran kemudian disintering pada suhu 800 – 1000 °C.

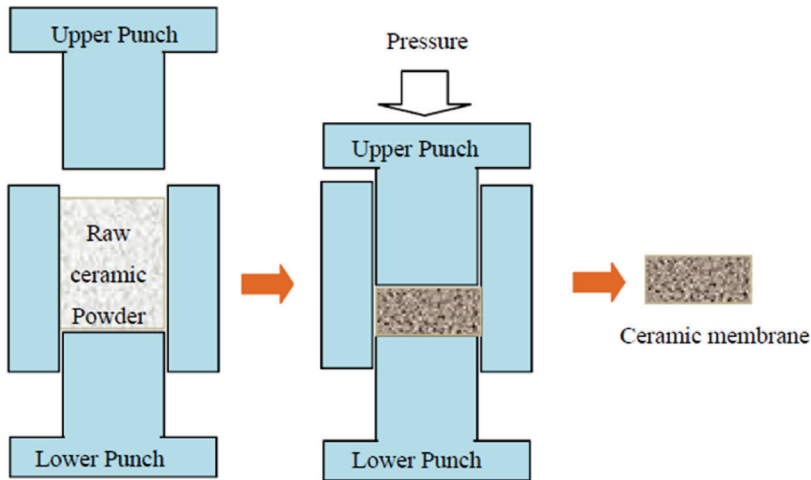


Gambar 3.2. Pembuatan membran keramik dengan metode Tape casting (Issaoui & Limousy, 2019)

3. Pengepresan (*Pressing Methods*)

Metode pressing adalah metode yang terkenal digunakan terutama untuk pembuatan membran keramik pada fundamental penelitian. Metode ini umumnya didasarkan pada penekanan dari bubuk kering dengan menggunakan mesin press. Metode ini diawali dengan proses pencampuran bahan baku dan aditif (bahan baku dengan rasio agen pembentuk pori) sampai diperoleh campuran homogen, setelah homogen campuran kemudian

ditekan secara uniaksial. Campuran bahan baku dicetak dengan tekanan tertentu menggunakan cetakan. Campuran ini kemudian disintering pada temperatur 800 -1000 °C.



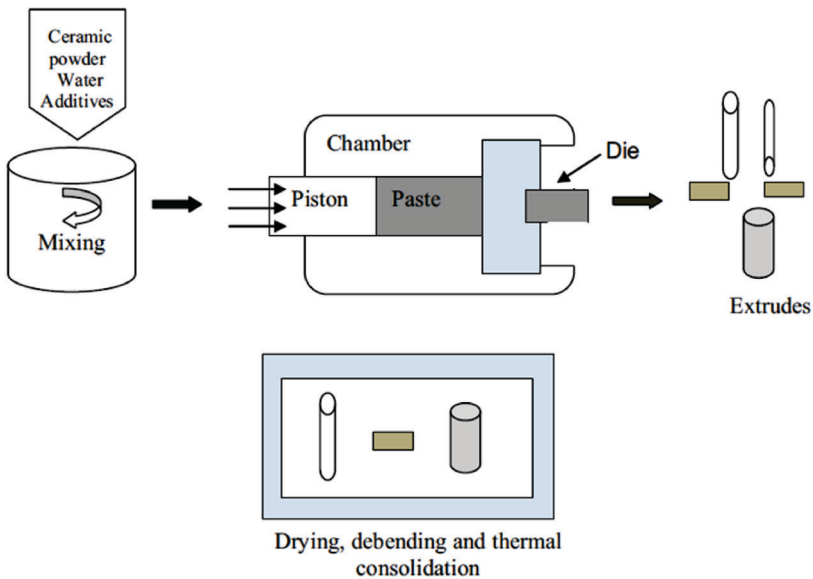
Gambar 3.3. Pembuatan membran keramik dengan metode pressing

4. Metode Ekstrusi

Ekstrusi adalah suatu proses yang mengkombinasikan beberapa proses meliputi pencampuran, pemasakan, pengadonan, penghancuran, pencetakan, dan pembentukan. Tujuan ekstrusi adalah untuk meningkatkan keragaman jenis produk pangan dalam berbagai bentuk, tekstur.

Ekstrusi merupakan metode konvensional untuk memproduksi membran keramik, banyak digunakan untuk pembuatan konfigurasi tubular berpori. Dalam metode ini, agen plastisisasi (plastisizer) dan agen pengikat (binder) diperlukan untuk produksi bubur keramik dengan karakteristik reologi (plastisitas, tingkat pengerasan setelah pengeringan, dll.) untuk membuat bentuk oleh ekstrusi. Metode pembentukan pasta tergantung pada geometri dari dukungan membran akhir.

proses deformasi terus menerus plastik, di mana pasta adalah dipaksa dengan tekanan piston yang relatif sederhana untuk mengalir bukaan die dari area penampang yang lebih kecil, yang menentukan bentuk, distribusi ukuran pori, dan porositas produk akhir. Membran keramik mentah dikeringkan (pada suhu kamar) dan kemudian diolah kondisi suhu tinggi, umumnya pada putaran rendah tingkat untuk menghindari pembentukan retak pada lapisan keramik, ke atas ke suhu sintering dari bahan yang digunakan. Itu proses ekstrusi telah umum digunakan untuk persiapan membran keramik berbeda menggunakan bahan murah.



Gambar 3.4. Pembuatan membran keramik dengan metode ekstrusi (Issaoui & Limousy, 2019)

B. Karakterisasi Membran Keramik

1. Densitas

Untuk mengetahui densitas membran yang dihasilkan dilakukan dengan cara mengukur tebal dan diameter membran

yang terbentuk serta menimbang berat membran. Dari data tebal dan diameter dapat dihitung volume membran dengan rumus berikut:

$$V = \frac{1}{4} \times \pi \times D^2 \times t \quad (3.1)$$

Dimana V adalah volume (cm^3), D adalah diameter (cm) dan t adalah tebal (cm).

Sedangkan untuk menghitung densitas membran dengan rumus berikut:

$$\rho = mk/V \quad (3.2)$$

Dimana ρ adalah densitas (gr/cm^3), mk adalah massa kering membran (gr) dan V adalah volume membran (cm^3)

2. Porositas dan Water Absorption

Untuk mengetahui porositas dan *water absorption* dilakukan dengan cara merendam membran dengan aquades hingga membran dalam keadaan jenuh (tidak dapat menyerap air lagi). Sebelum direndam membran ditimbang sebagai berat kering (mk). Setelah itu membran dikeringkan dengan tisu secukupnya kemudian ditimbang sebagai berat basah. Porositas dapat dihitung dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$\theta = \frac{mb-mk}{V} \times 100\% \quad (3.3)$$

Dimana θ adalah porositas (%), mb adalah massa basah (gr), mk adalah massa kering (gr) dan V sampel adalah volume bulk membran (cm^3).

Sedangkan *water absorption* dapat dihitung dengan menggunakan persamaan:

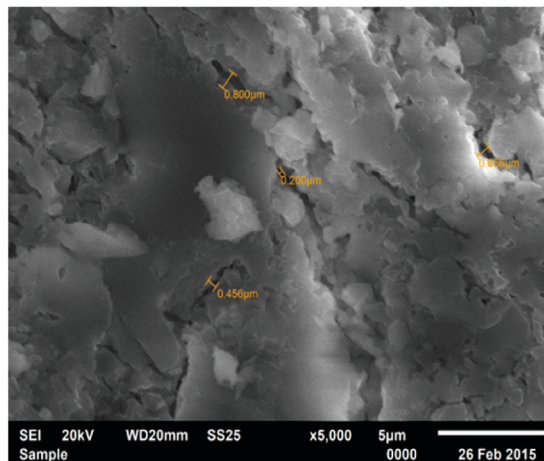
$$\mu = \frac{mb-mk}{mk} \times 100\% \quad (3.4)$$

Dimana μ adalah porositas (%), mb adalah massa basah (gr) dan

mk adalah massa kering (gr).

3. Morfologi membran dengan SEM (*Scanning Electron Microscope*)

Mikroskop *electron* adalah mikroskop yang mampu melakukan pembesaran objek sampai 2 juta kali, yang menggunakan elektrostastik dan elektromagnetik untuk mengontrol pencahayaan dan tampilan gambar serta memiliki kemampuan perbesaran objek serta solusi yang jauh lebih bagus daripada mikroskop cahaya. Mikroskop *electron* ini menggunakan jauh lebih banyak energi dan radiasi elektro magnetik yang lebih pendek dibandingkan mikroskop cahaya. Mikroskop pemindai *electron* (SEM) yang digunakan untuk studi detail arsitektur permukaan sel atau struktur jasad renik lainnya dan objek diamati secara tiga dimensi.



Gambar 3.5. Morfologi membran keramik

Cara terbentuknya gambar pada SEM berbeda dengan apa yang terjadi pada mikroskop optik. Pada SEM, gambar dibuat berdasarkan deteksi *electron* baru (*electron* sekunder) atau *electron* pantul yang muncul dari permukaan sampel, ketika permukaan

sampel tersebut dipindai dengan sinar electron. Electron sekunder atau *electron* pantul yang terdeteksi selanjutnya diperkuat sinyalnya, kemudian besar amplitudonya ditampilkan dalam gradasi gelap-terang pada layar monitor CRT (*Cathode Ray Tube*). Dilayar CRT inilah gambar struktur objek yang sudah diperbesar bisa dilihat. Pada proses operasinya, SEM tidak memerlukan sampel yang ditipiskan, sehingga bisa digunakan untuk melihat obyek dari sudut pandang 3 dimensi.

4. Kinerja Membran

Kinerja atau efisiensi membran ditentukan oleh dua parameter utama yaitu fluks dan rejeksi.

a. Fluks

Fluks didefinisikan sebagai banyaknya spesi yang dapat menembus membran tiap satuan luas membran persatuan waktu. Fluks ditentukan oleh jumlah pori membran. Fluks demikian dinyatakan sebagai fluks volume (J_v) yang dinyatakan sebagai berikut:

$$J_v = \frac{V}{A.t} \quad (3.5)$$

Dimana J_v adalah fluks membran ($\text{lt}/\text{m}^2.\text{jam}$), V adalah volume permeat (lt), A adalah luas membran (m^2) dan t adalah waktu tempuhan (jam).

b. Rejeksi

Rejeksi didefinisikan sebagai fraksi konsentrasi zat terlarut yang tidak menembus membran. Rejeksi ditentukan oleh ukuran pori membran. Rejeksi yang diamati adalah rejeksi yang tidak melibatkan molekul yang menempel pada membran atau tanpa terjadi akumulasi. Rejeksi dinyatakan sebagai berikut:

$$R = \left(1 - \frac{C_p}{C_f}\right) \times 100\% \quad (3.6)$$

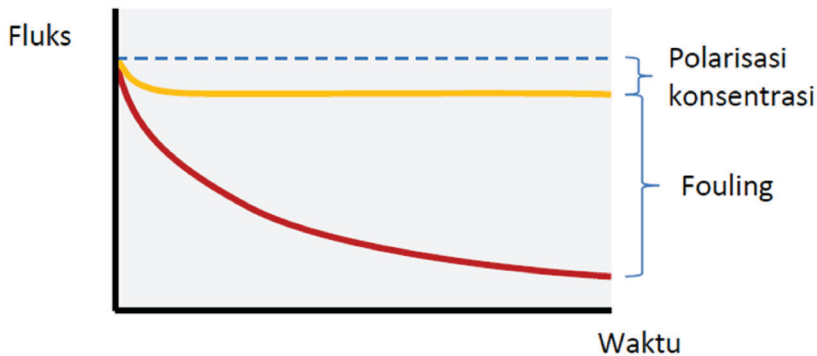
Dimana R adalah koefisien rejeksi (%), C_p adalah konsentrasi zat terlarut dalam permeat dan C_f adalah konsentrasi zat terlarut dalam umpan

Harga rejeksi bergantung pada berat molekul zat terlarut yang digunakan, bila $R=100\%$, berarti membran tersebut menolak sempurna zat terlarut atau menahan sempurna zat terlarut, sehingga hampir tidak ada zat terlarut yang berhasil menembus pori membran.

5. Tahanan Membran (*Membrane Resistance*) dan Polarisasi Konsentrasi

Suatu proses membran dapat dikatakan efektif dan efisien bila membran tersebut mempunyai nilai fluks yang tinggi. Fluks membran merupakan kemampuan dari membran untuk menyaring sebanyak mungkin dalam tempo yang relatif singkat. Fluks membran bisa mengalami perubahan bila terjadi perubahan struktur membran. Fenomena yang muncul dalam penggunaan membran yang digunakan dalam suatu proses filtrasi yaitu terjadi penurunan nilai fluks membran sejalan dengan pertambahan waktu. Ada dua fenomena penting terjadinya penurunan fluks, yaitu polarisasi konsentrasi dan *fouling*.

Polarisasi konsentrasi adalah fenomena terjadi pemekatan konsentrasi zat terlarut (solute) pada permukaan membrane. Adanya penumpukan konsentrasi ini menyebabkan fluks membran mengalami penurunan.



Gambar 3.6. Penurunan fluks membran selama operasi

Secara umum pada proses filtrasi dengan membran, terjadi resistensi (tahanan) yang terdiri dari tahanan membran (R_m), tahanan karena polarisasi konsentrasi (R_{cp}), tahanan karena pembentukan gel pada permukaan membran (gel layer formation = R_g), tahanan karena adanya adsorpsi (R_a), dan tahanan karena penutupan pori (pore blocking = R_p). Skema tahanan pada proses filtrasi dengan membran dapat dilihat pada Gambar 3.7.

Dalam bentuk persamaan yang lebih umum tahanan (resistensi) pada proses filtrasi ada tiga, yaitu: (1) tahanan membran (R_m); (2) tahanan karena *fouling reversible* (R_{rev}); dan (3) tahanan karena *fouling irreversible* (R_{irr}). Tahanan *fouling reversible* adalah fouling yang bisa dihilangkan setelah pencucian seperti pembetukan gel pada permukaan membrane (*cake or gel layer*), adsorption dan polarisasi konsentrasi (Nourbakhsh *et al*, 2014).

$$R_t = R_m + R_f \quad (3.7)$$

$$R_f = R_{frev} + R_{firr} \quad (3.8)$$

Persamaan (3.7) dapat ditulis menjadi:

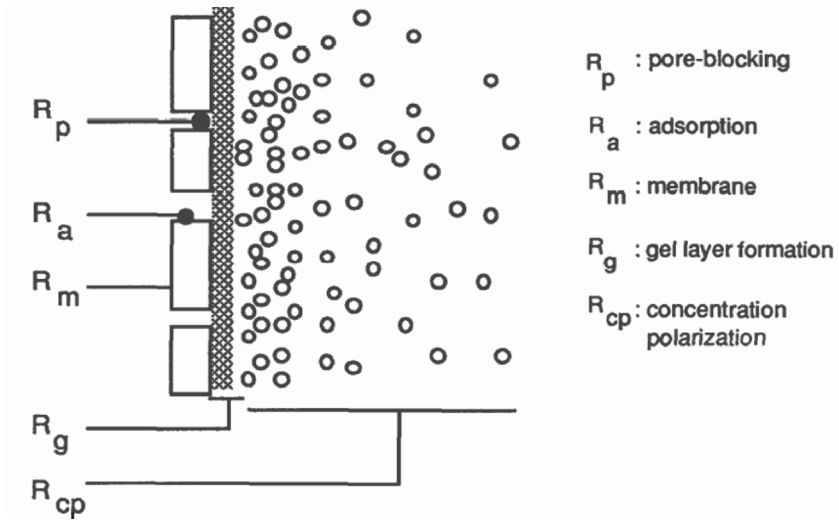
$$R_t = R_m + R_{frev} + R_{firr} \quad (3.9)$$

Dimana R_t adalah tahanan total, m^{-1} .

Tahanan membran dapat ditentukan berdasarkan fluks membran dengan menggunakan air murni (J_o).

$$J_o = \frac{TMP}{\mu \cdot R_m} \quad (3.10)$$

Dimana J_o adalah fluks membran $lt/m^2.jam$, TMP adalah trans membrane pressure, bar (kg/cm^2) dan μ adalah viskositas air ($(kg.m/s^2) (s/m^2)$) dan R_m adalah tahanan membrane (m^{-1}).



Gambar 3.7. Skema tahanan pada membran

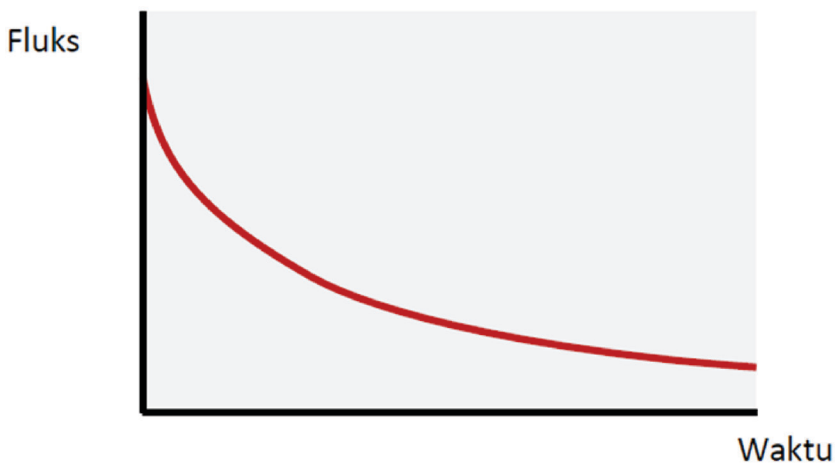
Tahanan *fouling* dapat dihitung berdasarkan fluks membran pada saat operasi filtrasi.

$$J = \frac{TMP}{\mu \cdot R_t} \quad (3.11)$$

Dimana J adalah fluks membrane pada saat proses filtrasi, $lt/m^2.jam$.

6. Fouling Membran

Fouling atau penyumbatan merupakan masalah yang sangat umum terjadi, yang terjadi akibat kontaminan yang menumpuk di dalam dan permukaan pori membran dalam waktu tertentu. *Fouling* tidak dapat dielakkan, walaupun membran sudah melalui proses pre-treatment. Jenis *fouling* yang terjadi sangat bergantung pada berbagai faktor, termasuk diantaranya kualitas umpan, jenismembran, bahan membran, dan perancangan serta pengendalian proses.



Gambar 3.8. Penurunan fluks membran karena *fouling*

Fouling pada membran memang sulit untuk dihindari dalam proses filtrasi membran. Fouling terjadi akibat adanya molekul-molekul yang terakumulasi pada permukaan membran, menempati pori-pori membran dan tersumbat didalamnya. Fenomena fouling ini agak sulit untuk diamati secara langsung, tetapi pengaruh langsung terhadap karakteristik membran bisa diketahui, misalnya terjadi perubahan nilai konduktansinya, penurunan nilai fluks dan lain sebagainya.

Fouling adalah tununya fluks selama operasi membran walaupun seluruh parameter operasi seperti tekanan, laju air,

suhu, dan konsentrasi umpan dibuat konstan. *Fouling* membran umumnya disebabkan oleh akumulasi endapan partikel submikron pada permukaan membran atau presipitasi solut pada permukaan dan dalam pori-pori membran. Hampir semua komponen dalam larutan umpan dapat menyebabkan *fouling* sampai tingkat tertentu (Wenten 1999).

Wenten (1999) mengemukakan bahwa pemahaman yang fundamental pada peristiwa *fouling* dapat dikembangkan dengan membagi peristiwa *fouling* menjadi dua tipe yakni:

1. Adsorpsi makromolekul yang menunjukkan interaksi intermolekuler yang spesifik antara padatan dengan membran yang terjadi meskipun proses filtrasi belum berlangsung (gaya hidrodinamika dail normal/*body* tidak ada).
2. Deposisi makrosolut atau padatan akibat adanya fluks permeat.

Fouling pada membran berdasarkan tempat terjadinya dapat dibedakan menjadi dua yaitu *fouling* eksternal dan *fouling* internal. *Fouling* internal disebabkan oleh absorpsi molekul atau koloid dalam pori membran (*pore blocking* dan *internal pore blocking*) sedangkan eksternal *fouling* berkaitan dengan polarisasi dari partikel yang terejeksi pada permukaan membran. Eksternal *fouling* merupakan gejala awal yang menandai terbentuknya *cake layer* (Hughes dan Scott 1996).

Guell dan Davis (1996) dalam Sumarto (2005) menjelaskan ada dua model yang dapat menggambarkan *internal fouling* yaitu pertama *Standard Blocking Model* (SBM), yang mengasumsikan bahwa penurunan fluks disebabkan karena terjadinya penyerapan protein pada dinding pori yang menyebabkan berkurangnya radius pori. Model yang kedua yaitu *Pore Blocking Model* (PBM) jika diasumsikan pori membran tersumbat secara menyeluruh. Model yang umum digunakan untuk menggambarkan penyumbatan diluar pori adalah *Cake Filtration*

Model (CFM), dengan asumsi bahwa resistensi *cake* meningkat karena terkumpulnya protein dipermukaan membran. Teknik pengukuran yang dilakukan untuk mengamati fenomena *fouling* secara langsung adalah dengan menggunakan *Scanning Electrone Microscopy (SEM)*.

Tingkat *fouling* yang terjadi tergantung pada komposisi kimia membran dan interaksi antara membran dan solut. Gejala polarisasi konsentrasi adalah terakumulasinya umpan pada permukaan membran sehingga konsentrasi berangsur-angsur naik (Mangun dan Darmoko 1991). Pengurangan polarisasi konsentrasi dapat dilakukan dengan menambahkan golakan dan gesekan dekat aliran membran, pencucian berkala, mengurangi tekanan, mengurangi kadar makro terlarut (BM tinggi), meningkatkan suhu dan memperbesar kelarutan makromolekul.

Menurut Mangunwijaja dan Darmoko (1991), akibat dan faktor-faktor yang mempengaruhi *fouling* adalah:

1. Akibat *fouling*:
 - a. Biaya pembersihan yang tinggi
 - b. Mempengaruhi perolehan fluks serta permeabilitas membran
2. Faktor-faktor yang mempengaruhi *fouling*:
 - b. Protein
 - c. Garam-garam
 - d. Lipida
 - d. Mikroorganisme

Menurut Mohanunadi *et al.* (2003), foulan atau lapisan *fouling* merupakan sebuah fenomena penyebab yang sering terjadi dalam mereduksi laju produk (retentat) yang dihasilkan. Fenomena ini dapat reversible atau bahkan irreversible. Beberapa teknik untuk mengontrol *fouling* diantaranya pra perlakuan

feed (umpan), pembersihan secara kimia dan optimasi kondisi operasi seperti suhu, tekanan transmembran dan kecepatan laju alir silang dipercaya dapat mengurangi *fouling*.

a) Tipe *fouling*

Fouling dapat dibagi menjadi *fouling* reversibel dan irreversibel, tergantung pada kekuatan partikel yang menempel pada permukaan membran. *Fouling* reversibel dapat dihilangkan dengan melakukan *backwash*. *Fouling* irreversibel disebabkan oleh kuatnya partikel yang menempel pada permukaan membran dan dapat dihilangkan dengan pencucian fisika (Beyer *et al.*, 2010). Pembentukan matriks yang kuat pada lapisan *fouling* dengan zat terlarut selama proses filtrasi berlangsung dapat menyebabkan *fouling* reversibel berubah menjadi *fouling* irreversibel. *Fouling* membran pada proses RO umumnya ditandai dan diukur dari penurunan fluks pada kondisi operasi konstan. *Fouling* pada membran disebabkan oleh partikel atau koloid yang terdapat pada air umpan dan terdepositasi pada permukaan membran. Bahan organik, presipitat garam anorganik yang telah lama terdeposit pada membran, dan pertumbuhan mikroorganisme merupakan penyebab terjadinya *fouling* (Porcelli dan Jud, 2010). Mekanisme utama *fouling* pada membran reverse osmosis adalah *fouling* pada permukaan. *Fouling* permukaan dapat berasal dari macam-macam kontaminan, termasuk partikulat anorganik, bahan organik terlarut, padatan terlarut, dan bahan biogenik (Beyer *et al.*, 2010).

1) *Fouling* organik

Fouling organik banyak ditemukan pada air umpan yang mengandung *natural organic matter* (NOM) yang relatif tinggi. NOM yang terdapat di dalam air mengandung senyawa-senyawa organik yang mempunyai sifat hidrofobik dan hidrofilik dengan kisaran berat molekul yang luas. Selain

NOM, efluen limbah domestik juga mengandung *effluent organic matter* (EfOM). Berdasarkan ukurannya, EfOM diklasifikasikan ke dalam 2 kelompok, yaitu (1) *particulate organic carbon* (POC) dengan ukuran molekul diatas 0.45 μm dan (2) *dissolved organic carbon* (DOC) yang berukuran molekul lebih kecil. POC terdiri dari zooplankton, alga, bakteri, dan bahan-bahan organik dari tanah dan tanaman. POC dapat dihilangkan melalui proses pemisahan padat-cair sedangkan DOC dapat menyebabkan fouling pada membran (Pandey *et al.*, 2012; Lee dan Elimelech, 2007).

2) **Fouling koloid**

Koloid merupakan partikulat anorganik yang berukuran mikrometer hingga nanometer. Koloid yang menyebabkan *fouling* pada membran dibagi menjadi 3 jenis, yaitu koloid anorganik (*clays*, silika, garam-garam anorganik, dan oksida logam), organik (kumpulan bahan-bahan organik alam dan sintetis), dan biologi (bakteri dan mikroorganisme) (Pandey *et al.*, 2012). Partikel dan koloid menyebabkan fouling reversibel karena akumulasi keduanya pada permukaan membran. Untuk menghilangkan fouling reversibel cukup dengan cara pencucian hidraulik, seperti *backwash* dan *air scrubbing*. Lain halnya jika ukuran partikel dan koloid lebih kecil dari ukuran pori membran, hal ini dapat menyebabkan partikel dan koloid terperangkap di dalam matriks struktur membran sehingga tidak mampu dihilangkan dengan pencucian secara hidraulik.

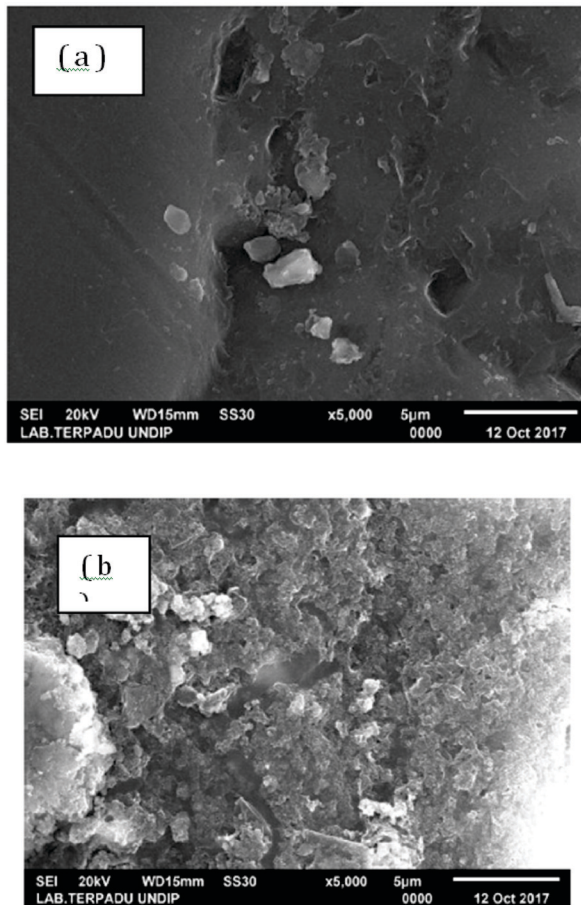
3) **Fouling mikroba/biofouling**

Biofouling disebabkan oleh bakteri, jamur, dan mikroorganisme sel tunggal lain yang aktif secara biologi (Cornelissen *et al.*, 2007). Biofouling merupakan proses dinamis akibat kolonisasi dan pertumbuhan mikroba, yang pada akhirnya membentuk biofilm. Apabila kolonisasi mikroba terjadi pada

membran selulosa asetat dapat menyebabkan kerusakan yang irreversibel, sebaliknya apabila terjadi pada membran poliamida dapat menyebabkan fouling (López-Ramírez *et al.*, 2006). Hal ini merupakan masalah yang paling besar dalam filtrasi membran. Meskipun proses filtrasi dengan membran mampu menghilangkan sebanyak 99.9% mikroorganisme (Pandey *et al.*, 2012), akan tetapi masih terdapat sel-sel mikroba yang tinggal dan membentuk biofilm yang menyebabkan penurunan fluks dan fouling irreversibel.

4) *Fouling anorganik/scaling*

Scaling didefinisikan sebagai proses terbentuknya lapisan oleh komponen-komponen anorganik pada permukaan membran. *Scaling* yang terjadi pada permukaan membran RO dapat mengurangi efisiensi proses yaitu mengurangi fluks pada permeat (produk) dan mengurangi rejeksi garam-garam yang terkandung pada umpan. Selain itu, *scaling* juga dapat menyebabkan kerusakan membran dan akhirnya mengurangi ketahanan serta memperpendek umur membran (Mustofa, 2007). Pembentukan *scaling* pada membran RO diawali dengan polarisasi konsentrasi akibat rejeksi garam-garam terlarut oleh membran pada saat proses. Pada keadaan tertentu, garam-garam tersebut akan mengalami supersaturasi yang diikuti oleh pembentukan inti kristal dan pertumbuhan kristal (Antony *et al.*, 2011). Metode yang digunakan untuk memperkirakan potensi *scaling* pada umpan antara lain *Langelier Saturation Index* (LSI), *Stiff Davis Stability Index* dan *Ryznar Stability Index*. Selain itu, terdapat juga metode rasio supersaturasi, yaitu perbandingan antara *ion activity product* dan K_{sp} (Tzotzi *et al.*, 2007).



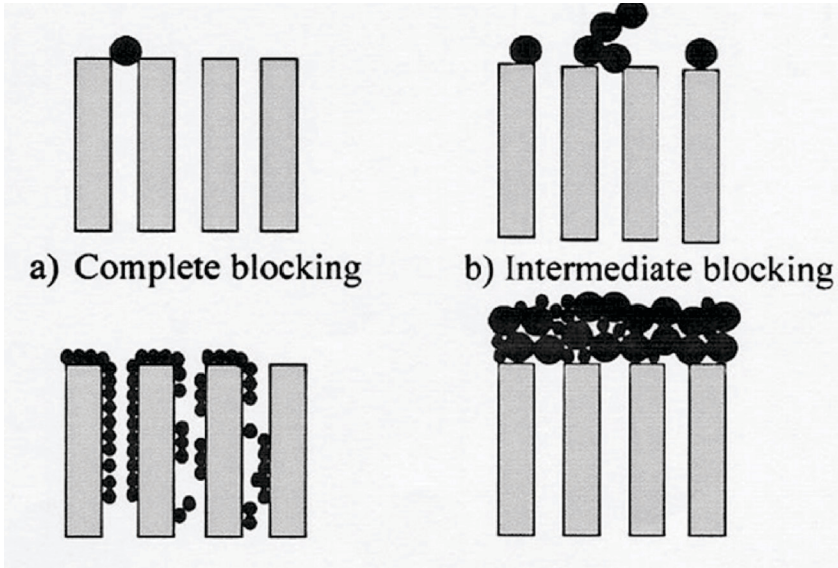
**Gambar 3.9. Fouling pada membran : (a) sebelum pemakaian;
(b) fouling setelah pemakaian**

b) Mekanisme Fouling

Mekanisme *fouling* dapat didekati dengan model mekanisme yang diusulkan oleh Hermia (Notodarmojo dkk. 2004., Aryanti *et al.*, 2017). Ada empat model mekanisme berdasarkan model Hermia, yaitu *complete pore blocking*, *standart pore blocking*, *internal pore blocking* dan *cake formation*. Persamaan umum model fouling adalah sebagai berikut.

$$\frac{d^2t}{dV^2} = k \left(\frac{dt}{dV} \right)^n \quad (3.12)$$

Dimana t adalah waktu, menit; V adalah volume permeat, mL; k adalah konstanta dan n adalah nilai pada model *fouling*.



Gambar 3.10. Mekanisme *fouling* pada membran

Berdasarkan model Hermia, dapat dibuat persamaan linier hubungan antara fluks dengan waktu berdsarkan nilai n sebagai berikut:

Complete bloking ($n = 2$)

$$\ln J = \ln J_o + k_c t \quad (3.13)$$

Intermediate bloking ($n = 1$)

$$\frac{1}{J} = \frac{1}{J_o} + k_i t \quad (3.14)$$

Standard bloking ($n = 1,5$)

$$\frac{1}{\sqrt{J}} = \frac{1}{\sqrt{J_0}} + k_b \cdot t \quad (3.15)$$

Cake formation ($n = 0$)

$$\frac{1}{J^2} = \frac{1}{J_0^2} + k_{cf} \cdot t \quad (3.16)$$

KARAKTERISTIK MEMBRAN KERAMIK DARI ZEOLIT ALAM

A. Pengaruh Temperatur Sintering Terhadap Sifat Fisik Membran Keramik

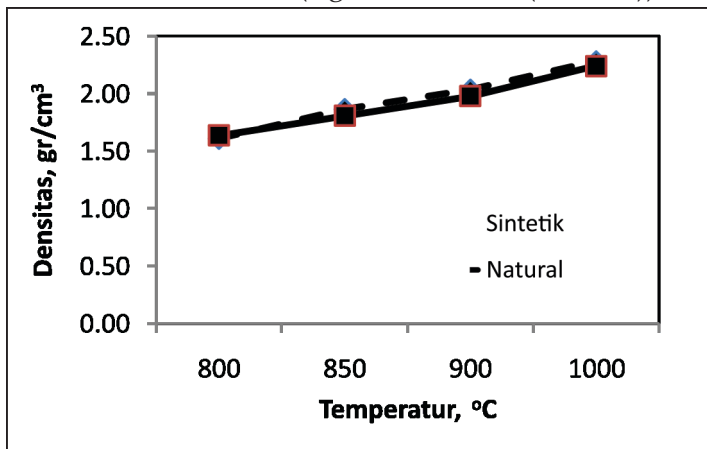
1. Densitas

Proses pembuatan membran keramik dari zeolit alam dilakukan dengan menggunakan dry pressing pada tekanan 125 kPa. Diameter zeolit alam yang digunakan $<43\text{ }\mu\text{m}$ dengan penambahan binder 7% berat. Proses sintering dilakukan pada temperatur 800 – 1000 °C. Hasil pengukuran densitas membran keramik yang diperoleh dengan variasi temperatur pemanasan 800 – 1000 °C yaitu antara 1,64 – 2,24 gr/cm³ untuk membran dengan binder natural dengan menggunakan tepung beras dan antara 1,61 – 2,28 gr/cm³ untuk membran dengan binder sintetik (binder untuk Analisa XRF). Untuk mengetahui pengaruh temperatur pemanasan tersebut dapat dilihat pada Gambar 4.1.

Gambar 4.1 menunjukkan bahwa semakin tinggi temperature pemanasan maka densitas membran keramik akan semakin meningkat. Terjadi kenaikan densitas membran dengan menggunakan binder natural sebesar 36,95% dan pada binder sintetik sebesar 41,6% saat dipanaskan pada suhu 800 °C hingga

1000 °C.

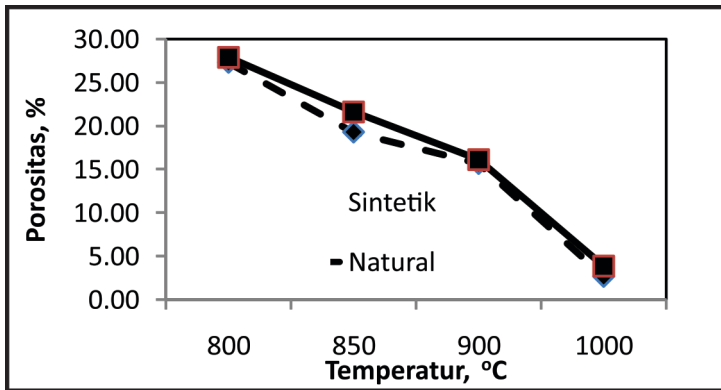
Berdasarkan pengolahan data menggunakan *one way* annova hubungan yang didapat antara temperatur pemanasan dengan densitas membran yang dihasilkan signifikan berbeda ($P < 0.05$). Sedangkan untuk mengetahui pengaruh penggunaan binder natural dan sintetis pada suhu 800°C dan 1000°C dengan menggunakan independent sample T test, diperoleh hasil bahwa tidak ada perbedaan densitas membran yang menggunakan binder natural dan sintetis (signifikan sama, ($P > 0,05$)).



Gambar 4.1. Pengaruh temperatur pemanasan terhadap densitas membran keramik

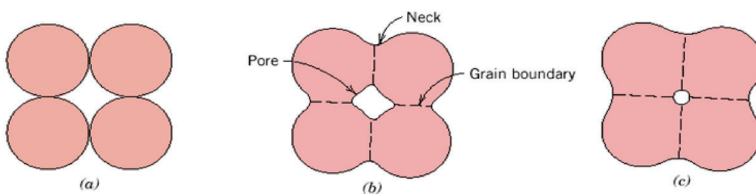
2. Porositas

Hubungan antara variasi suhu pemanasan terhadap porositas membran keramik dapat dilihat pada pada Gambar 4.2.



Gambar 4.2. Pengaruh temperature pemanasan terhadap porositas membran

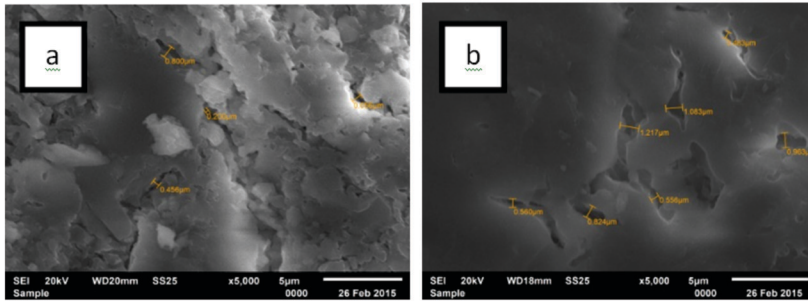
Porositas membran pada suhu pemanasan 800 – 1000°C semakin berkurang yaitu dari 27,91% (pemanasan 800°C) menjadi 3,89% (suhu pemanasan 1000 °C) berkurang 86,05% pada membran dengan binder tepung beras sedangkan membran yang menggunakan binder sintetis berkurang dari 27,33% (pemanasan 800°C) menjadi 2,70% (suhu pemanasan 1000 °C) berkurang 90,13%. Porositas membran berkurang disebabkan karena partikel powder zeolit bergabung karena efek sintering sehingga ukuran pori berkurang.



Gambar 4.3. Efek sintering pada ukuran pori membran keramik

Hasil pengamatan morfologi membran keramik dengan menggunakan SEM dapat dilihat pada Gambar 4.6, terlihat bahwa membran zeolit yang dipanaskan pada suhu 1000 °C pori – pori yang terbentuk lebih sedikit dibandingkan membran yang

dipanaskan pada suhu 900°C

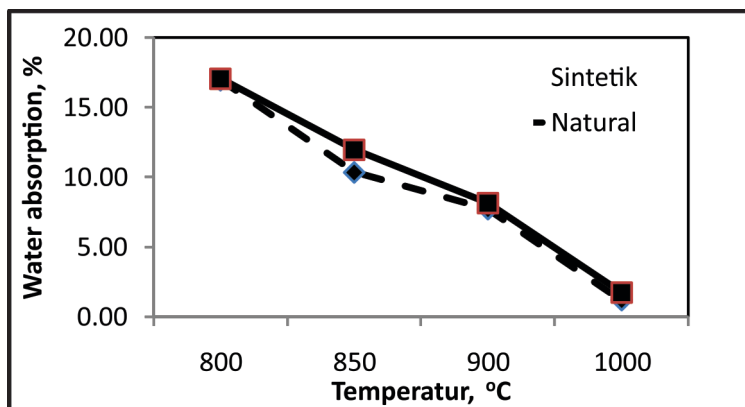


Gambar 4.6. Morfologi membran keramik pada pemanasan:
(a) 900 °C, (b) 1000 °C

Berdasarkan olah data menggunakan one way annova hubungan antara suhu pemanasan dengan % porositas adalah signifikan berbeda ($P < 0.05$). Sedangkan untuk mengetahui pengaruh penggunaan binder natural dan sintetik pada suhu 800°C dan 1000°C dengan menggunakan independent sample T test, diperoleh hasil bahwa tidak ada perbedaan porositas membran yang menggunakan binder natural dan sintetik (signifikan sama, ($P > 0,05$)).

3. Water absorption

Water absorption merupakan kemampuan membran keramik dalam menyerap air. Pengaruh suhu pemanasan terhadap *water absorption* dapat dilihat pada Gambar 4.7.

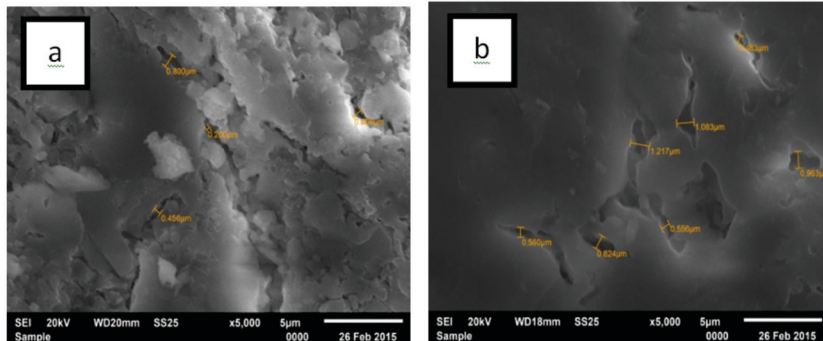


Gambar 4.7. Pengaruh suhu pemanasan terhadap **water absorption**

Berdasarkan Gambar 4.7 *water absorbtion* dari membran keramik semakin menurun dengan kenaikan suhu pemanasan. Pada membran yang menggunakan binder sintetis water absorbtion turun dari 16.95% menjadi 1.18 % penurunan sebesar 93,04 % saat dipanaskan dari suhu 800 °C hingga 1000 °C. Sedangkan pada membran yang menggunakan binder tepung beras mengalami penurunan water absorbtion dari 17.04% menjadi 1.73% atau dengan penurunan sebesar 89,85% saat dipanaskan dari suhu 800 °C hingga 1000 °C. Hal ini disebabkan karena pori membran semakin mengecil seiring dengan kenaikan suhu sintering sehingga water absorbtion menurun.

Berdasarkan uji *one way annova* didapatkan pula hubungan antara suhu pemanasan dengan water absorption adalah signifikan berbeda ($P < 0.05$). Sedangkan untuk mengetahui pengaruh penggunaan binder natural dan sintetis pada suhu 800°C dan 1000°C dengan menggunakan independent sample T test, diperoleh hasil bahwa tidak ada perbedaan water absorbtion membran yang menggunakan binder natural dan sintetis (signifikan sama, ($P > 0,05$)).

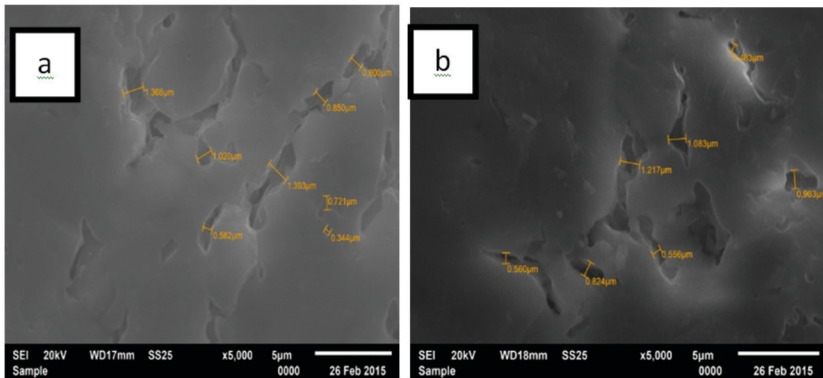
B. Morfologi Membran Keramik



Gambar 4.8. Morfologi membran keramik dengan penambahan binder tepung beras pada pemanasan: (a) 900 °C, (b) 1000 °C

Analisa SEM digunakan untuk melihat morfologi (ukuran pori – pori yang terbentuk) pada membran keramik dari zeolit alam yang terbentuk. Hasil analisis SEM dari membran keramik yang telah dibuat dapat dilihat pada gambar 4.8.

Gambar tersebut merupakan hasil pengukuran membran keramik dengan binder tepung beras pada suhu sintering 900 °C dan 1000 °C dengan SEM yang dilakukan pada perbesaran 5000 kali. Berdasarkan gambar tersebut dapat kita lihat efek perbedaan suhu sintering terhadap pori – pori yang terbentuk pada membran keramik. Membran yang dipanaskan pada suhu 1000 °C memiliki pori – pori lebih sedikit dibandingkan dengan membran yang dipanaskan pada suhu 900 °C. Pada suhu 900 °C membran zeolit menggunakan binder natural memiliki pori - pori dengan ukuran berkisar 0,2 – 0,8 µm (rata – rata pori yang terbentuk 0,53µm) sedangkan membran keramik yang dipanaskan pada suhu 1000 °C, pori – pori yang terbentuk berkisar 0,483 – 1,217 µm (rata – rata pori yang terbentuk 0,81µm).



Gambar 4.9. Morfologi membran keramik pada suhu sintering 1000 oC (a) binder tepung beras, (b) binder sintetis

Gambar 4.9 tersebut merupakan hasil pengukuran membran keramik yang menggunakan binder natural dan sintetis pada suhu sintering 1000 °C dengan SEM yang dilakukan perbesaran 5000 kali. Berdasarkan gambar tersebut dapat diketahui pori – pori yang terbentuk pada membran keramik yang menggunakan binder tepung beras berukuran 0,483 – 1,217 µm (rata – rata pori yang terbentuk 0,81µm). sedangkan membran keramik yang menggunakan binder sintetis memiliki pori – pori dengan ukuran 0,344 – 1,393µm (rata – rata pori yang terbentuk 0,84µm). Dengan ukuran pori yang terbentuk, maka membran keramik yang dihasilkan termasuk dalam katagori membran mikrofiltrasi.

APLIKASI MEMBRAN KERAMIK HYBRID DARI TANAH LIAT-TiO₂ UNTUK PENGOLAHAN LIMBAH ZAT WARNA

A. Pendahuluan

Pertumbuhan pakaian batik di Indonesia meningkat sangat signifikan. Produksi pakaian batik dilakukan pada skala rumah tangga. Dari aspek ekonomi, ini akan baik karena dapat meningkatkan ekonomi masyarakat, tetapi dari segi lingkungan tidak menarik. Produksi pakaian batik pada rumah tangga menyebabkan masalah dalam hal pengelolaan air limbah cair warna yang dihasilkan.

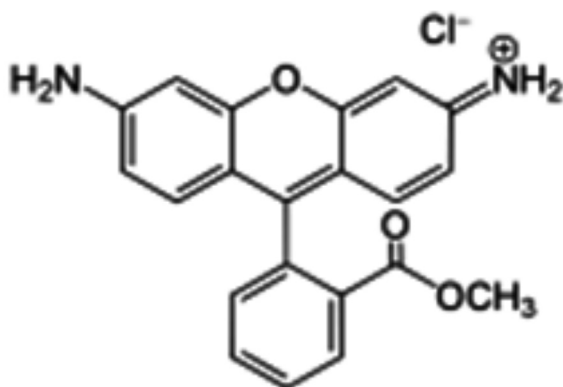
Ada beberapa proses untuk mengolah air limbah warna. Proses koagulasi dapat digunakan untuk mengolah air limbah warna menggunakan koagulan seperti soda api, kapur, aluminium sulfat (alum), polialuminium klorida (PAC) dan magnesium klorida (MgCl₂). Proses adsorpsi juga dapat digunakan untuk mengurangi kontaminan pewarna dalam air limbah. Ada beberapa jenis adsorben yang dapat digunakan sebagai adsorben seperti zeolit, karbon aktif dan biomassa mikroba.

Proses pemisahan dengan menggunakan membran secara luas telah digunakan dalam proses industri untuk konsentrasi, pemurnian, meningkatkan produk akhir dan pengolahan air

limbah. Ultrafiltrasi, nanofiltrasi dan proses reverse osmosis efektif untuk menghilangkan pewarna. Karakteristik limbah tekstil adalah kisaran komposisi yang sangat luas dalam hal pH, keasaman / alkalinitas, jenis pewarna dan kontaminan lainnya dan mungkin cukup panas (50-80 ° C). Oleh karena itu, membran yang akan digunakan untuk aplikasi pemisahan zat warna harus memiliki bahan kimia yang baik serta ketahanan termal.

Rhodamin B adalah salah satu zat pewarna sintetis yang biasa digunakan pada industri tekstil dan kertas . Zat ini ditetapkan sebagai zat yang dilarang penggunaannya pada makanan melalui Peraturan Menteri Kesehatan (Permenkes) No.239/Menkes/Per/V/85. Namun penggunaan Rhodamine dalam makanan masih terdapat di lapangan. Contohnya, BPOM di Makassar berhasil menemukan zat Rhodamine-B pada kerupuk, sambak botol, dan sirup melalui pemeriksaan pada sejumlah sampel makanan dan minuman. Rhodamin B ini juga adalah bahan kimia yang digunakan sebagai bahan pewarna dasar dalam tekstil dan kertas. Pada awalnya zat ini digunakan untuk kegiatan histologi dan sekarang berkembang untuk berbagai keperluan yang berhubungan dengan sifatnya dapat berfluorensi dalam sinar matahari.

Rumus Molekul dari Rhodamin B adalah $C_{28}H_{31}N_2O_3Cl$ dengan berat molekul sebesar 479,02 gr/mol. Zat yang sangat dilarang penggunaannya dalam makanan ini berbentuk kristal hijau atau serbuk ungu-kemerah - merahan, sangat larut dalam air yang akan menghasilkan warna merah kebiru-biruan dan berfluorensi kuat. Rhodamin B juga merupakan zat yang larut dalam alkohol, HCl, dan NaOH, selain dalam air. Di dalam laboratorium, zat tersebut digunakan sebagai pereaksi untuk identifikasi Pb, Bi, Co, Au, Mg, dan Th dan titik leburnya pada suhu 165°C.



Gambar 5.1. Struktur molekul rhodamine B.

B. Sintesis Membran Keramik dari Tanah Liat - TiO_2

Pada proses pembuatan membran keramik ada 4 tahap yaitu persiapan bahan baku, pencampuran, pencetakan dan pembakaran (sintering). Pada proses persiapan bahan baku, tanah liat dijemur sampai kering kemudian di haluskan dengan jaw crusher dan agar lebih halus di haluskan kembali dengan diblender, lalu di screening dengan lolos sieve $45\mu\text{m}$. Kemudian tanah liat, TiO_2 dan tepung beras sebagai bahan pengikat (binder) dicampur dengan cara dikocok hingga homogen.

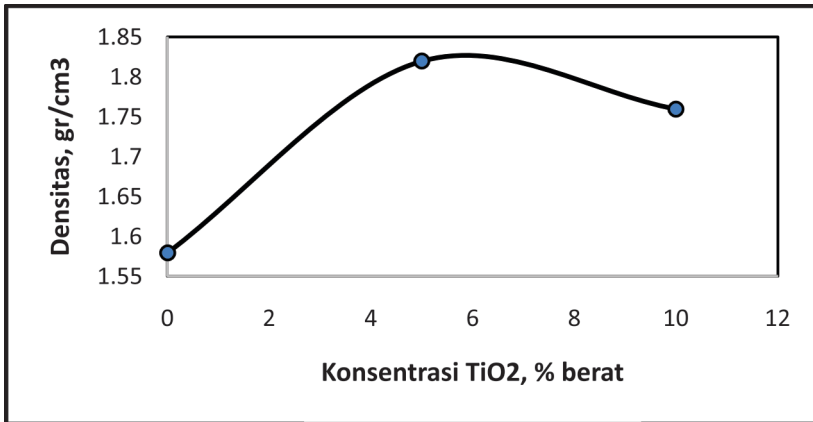
Hasil pencampuran tersebut kemudian dicetak dengan cetakan besi berbentuk cincin dan alasnya plat kaca, lalu dipres dengan pres hidrolik dengan kuat tekan 5 tons. Kemudian membran dibakar dalam furnace pada temperatur 900°C selama 6 jam.

C. Karakteristik Membran Keramik Tanah Liat- TiO_2

1. Densitas

Hasil analisis densitas membran keramik dari tanah liat - TiO_2 dengan variasi konsentrasi TiO_2 0%, - 10% yaitu berkisar antara $1,58 - 1,82 \text{ gr/cm}^3$. Densitas membran keramik dari

tanah liat dengan penambahan TiO_2 paling tinggi dicapai pada penambahan TiO_2 sebesar 5% dengan densitas membran keramik sebesar $1,82 \text{ gr/cm}^3$.

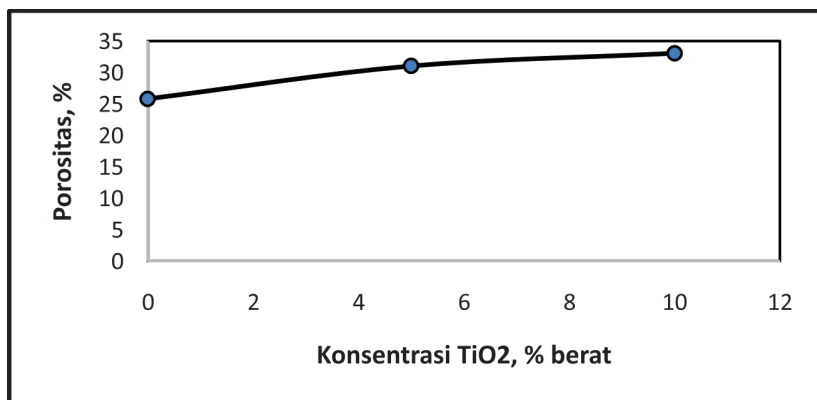


Gambar 5.2. Pengaruh konsentrasi TiO_2 terhadap densitas membran keramik dari tanah liat

Gambar 5.2 menunjukkan bahwa nilai densitas pada TiO_2 0% sebesar $1,58 \text{ g/cm}^3$ sedangkan TiO_2 5% sebesar $1,82 \text{ g/cm}^3$ dan pada TiO_2 10% sebesar $1,76 \text{ g/cm}^3$. Dapat diketahui bahwa konsentrasi TiO_2 5% merupakan konsentrasi yang baik dibandingkan dengan konsentrasi TiO_2 0% dan 10%. Dapat disimpulkan bahwa semakin tinggi konsentrasi TiO_2 maka semakin rendah densitasnya. Hal ini dikarenakan TiO_2 mempengaruhi pori-pori pada membran keramik sehingga pori-pori tersebut melebar.

2. Porositas

Hasil analisis porositas membran keramik dari tanah liat dengan variasi konsentrasi TiO_2 dapat diketahui pada Gambar 5.2.

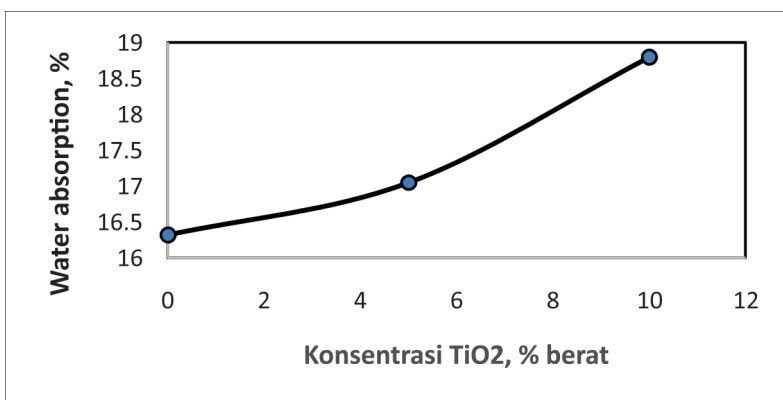


Gambar 5.3. Pengaruh konsentrasi TiO₂ terhadap porositas membran keramik dari tanah liat

Gambar 5.3 menunjukkan bahwa nilai porositas pada TiO₂ 0% sebesar 25,79% sedangkan TiO₂ 5% sebesar 31,09% dan TiO₂ 10% sebesar 33,14%. Dapat disimpulkan bahwa semakin tinggi konsentrasi TiO₂ maka membran keramik semakin bersifat poros. Hal ini dikarenakan pori-pori pada membran keramik melebar.

3. *Water Absorption*

Hasil analisis *water absorption* membran keramik dari tanah liat dengan variasi konsentrasi TiO₂ dapat diketahui pada Gambar 5.4



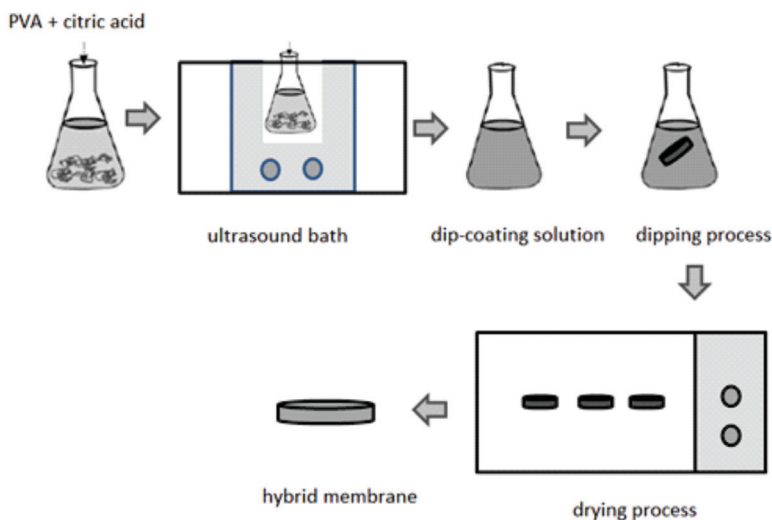
Gambar 5.4. Pengaruh konsentrasi TiO₂ terhadap *water absorption* membran keramik dari tanah liat

Gambar 5.4 menunjukkan bahwa nilai water absorption pada TiO_2 0% sebesar 16,32% sedangkan TiO_2 5% sebesar 17,05% dan pada TiO_2 10% sebesar 18,8%. Dapat disimpulkan bahwa semakin tinggi konsentrasi TiO_2 maka membran keramik semakin banyak menyerap air. Hal ini dikarenakan pori-pori pada membran keramik lebar.

D. Sintesis Membran Komposit

Proses pembuatan membran komposit terdiri dari 4 tahap yaitu pembuatan larutan dope, perendaman (*coating*), oven dan crosslinking. Pada pembuatan larutan dope, polivinil alcohol (PVA) dilarutkan dengan aquades dan ditambah dengan asam sitrat sebagai *crosslinker*. Kemudian tahap coating dengan cara merendam membran keramik dari tanah liat ke dalam larutan dope selama 24 jam.

Setelah itu membran dioven dengan temperatur 60°C selama 6 jam. Selanjutnya dioven kembali untuk proses crosslinking agar membran keramik lebih kuat dan Polivinil Alkohol tidak mudah larut dalam air, dengan temperatur 120°C selama 2 jam.



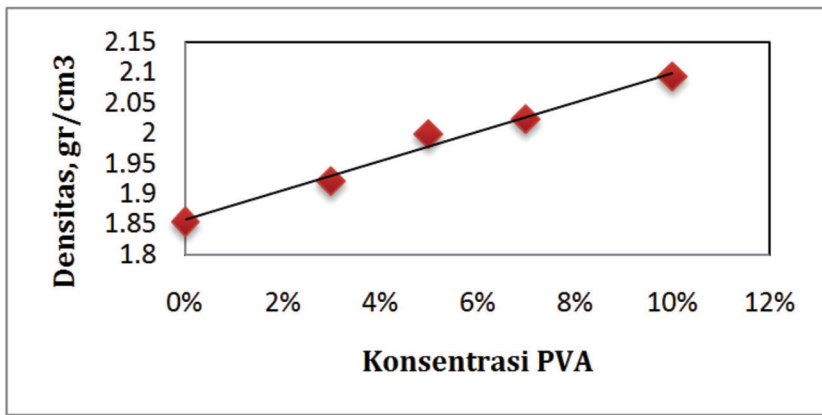
Gambar 5.5. Tahapan proses pembuatan membran keramik

komposit

E. Karakteristik Membran Hybrid Tanah Liat-TiO₂ dan PVA

1. Densitas

Hasil analisis densitas pada membran hybrid dengan variasi konsentrasi Polivinil Alkohol dapat dilihat pada Gambar 5.6.



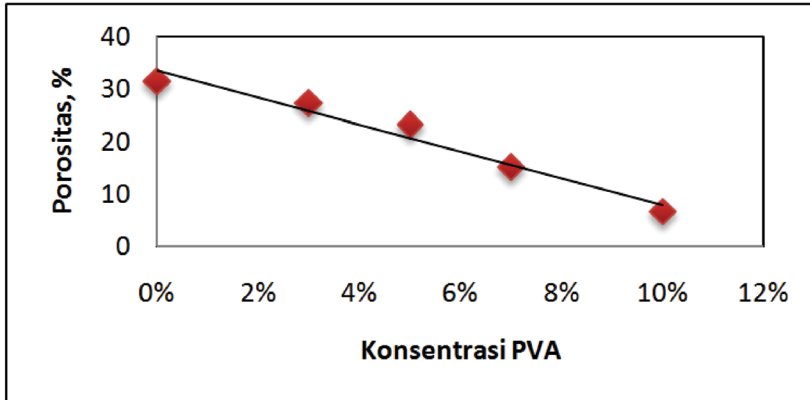
Gambar 5.6. Pengaruh konsentrasi polivinil alkohol terhadap densitas membran hybrid

Gambar 5.6 menunjukkan bahwa nilai konsentrasi pada PVA 0% sebesar 1,85 g/cm³, PVA 3% sebesar 1,92 g/cm³, PVA 5% sebesar 1,99 g/cm³, sedangkan PVA 7% sebesar 2,02 g/cm³ dan pada PVA 10% sebesar 2,09 g/cm³. Dapat disimpulkan bahwa semakin tinggi konsentrasi Polivinil Alkohol maka semakin tinggi densitasnya. Hal ini dikarenakan Polivinil Alkohol mengisi ruang kosong pada membran hybrid maka pori-pori membran hybrid yang awalnya lebar menjadi mengecil. Sehingga densitas membran hybrid bertambah.

2. Porositas

Hasil analisis *porosity* membran hybrid dengan variasi konsentrasi Polivinil Alkohol 0%, 3%, 5%, 7% dan 10% dapat

diketahui pada Gambar 5.7.

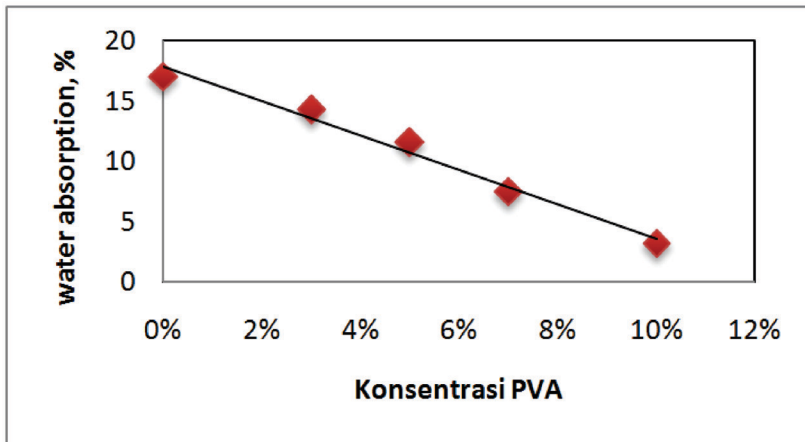


Gambar 5.7. Pengaruh konsentrasi PVA terhadap *porosity* membran hybrid

Gambar 5.7 menunjukkan bahwa nilai porositas pada PVA 0% sebesar 31,56%, PVA 3% sebesar 27,37%, PVA 5% sebesar 23,13% sedangkan PVA 7% sebesar 15,10% dan pada PVA 10% sebesar 6,66%. Dari hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa semakin tinggi konsentrasi polivinil alkohol maka porositas membran hybrid semakin kecil. Hal ini dikarenakan pori-pori pada membran hybrid kecil.

3. *Water Absorption*

Hasil analisis *water absorption* membran keramik dengan variasi konsentrasi TiO_2 0%, 5% dan 10% dapat diketahui pada Gambar 5.8.

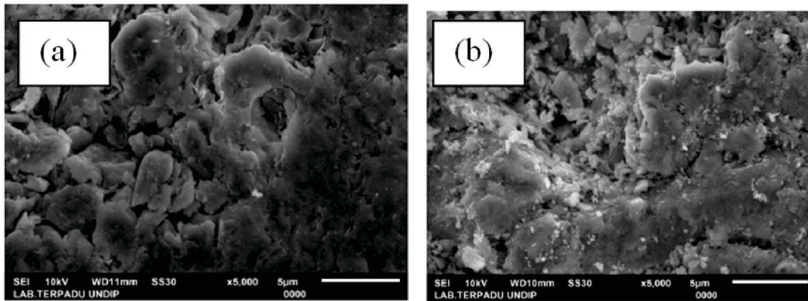


Gambar 5.8. Pengaruh konsentrasi Polivinil Alkohol terhadap *water absorption* membran hybrid

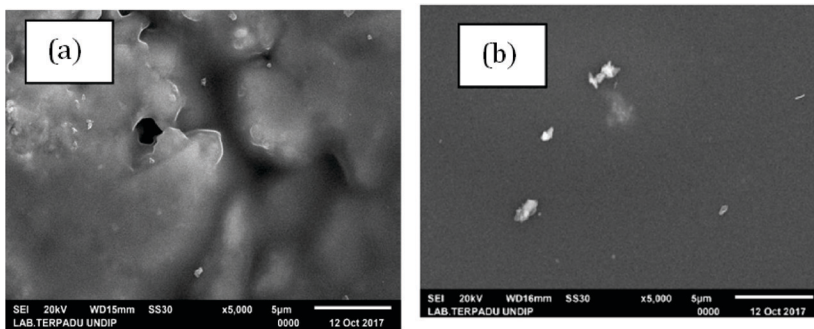
Gambar 5.8 menunjukkan bahwa nilai *water absorption* pada PVA 0% sebesar 17,02%, PVA 3% sebesar 14,26%, PVA 5% sebesar 11,57% sedangkan PVA 7% sebesar 7,47% dan pada PVA 10% sebesar 3,19%. Dapat disimpulkan bahwa semakin tinggi konsentrasi Polivinil Alkohol maka membran hybrid semakin sedikit menyerap air. Hal ini dikarenakan pori-pori pada membran keramik kecil.

4. Morfologi Membran Keramik Hybrid Tanah Liat/TiO₂ dan PVA

Hasil morfologi membran keramik dan membran hybrid dengan *Scanning Electron Microscope* dapat diketahui pada Gambar 5.9.



Gambar 5.9. Morfologi membran keramik dari tanah liat : (a) 0% TiO₂; (b) 10%TiO₂,



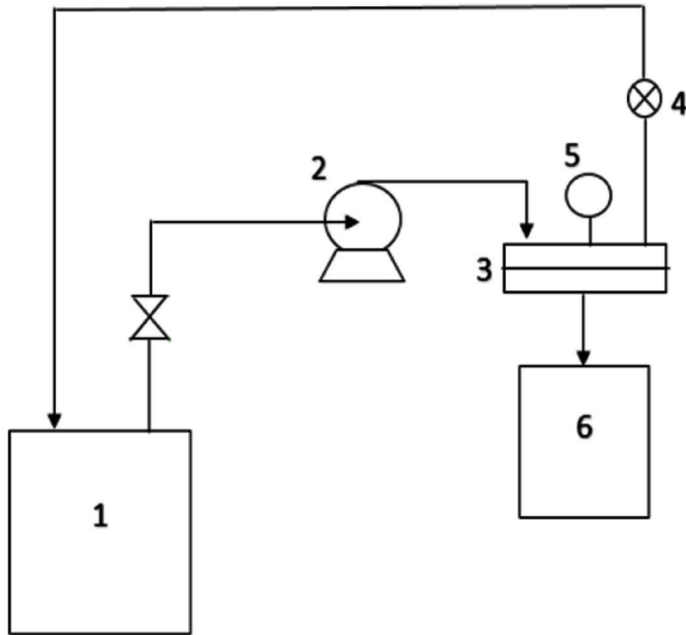
Gambar 5.10. Morfologi membran keramik hybrid dari tanah liat : (a) PVA 5%; (b) PVA 7%

Gambar 5.9 dan 5.10 menunjukkan bahwa skema hasil morfologi SEM sebelum ditambahkan Polivinil Alkohol dan setelah ditambahkan Polivinil Alkohol sangat berbeda. Pada membran keramik menghasilkan struktur pori yang renggang. Sedangkan pada membran hybrid menghasilkan struktur pori yang lebih rapat. Hal ini dikarenakan adanya penambahan Polovinil Alkohol yang dapat mengisi ruang kosong pada pori-pori yang renggang.

F. Aplikasi Membran Hybrid untuk Penghilangan Zat Warna

Membran yang digunakan adalah membrane flat (datar) dengan model aliran cross flow. Rangkaian perlatan yang

digunakan dapat dilihat pada Gambar 5.11.

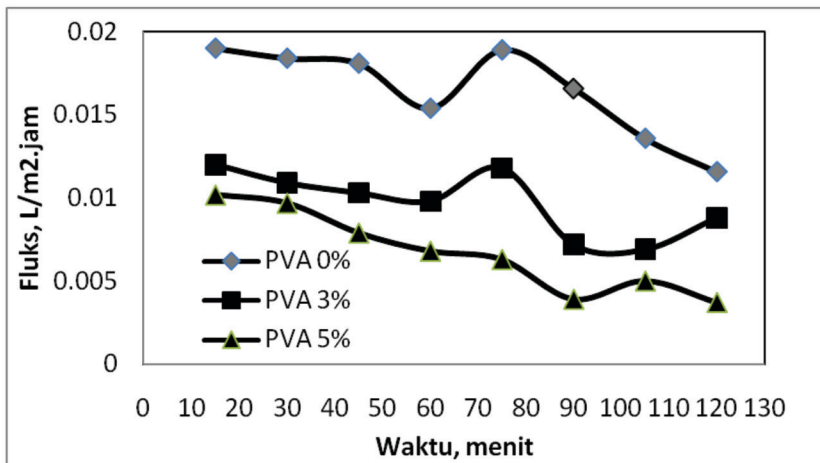


Gambar 5.11. Rangkaian alat filtrasi dengan membrane hybrid

Dimana (1). Tangka pengumpan; (2). Pompa; (3). Modul membran; (4). Valve pengatur tekanan; (5) *pressure gauge*; (6). Tangki permeat.

1. Fluks

Parameter pertama yang harus diukur adalah fluks membran selama proses filtrasi. Profil fluks membran hybrid dari tanah liat pada berbagai komposisi polivinil alkohol (PVA) dapat diketahui pada Gambar 5.11.



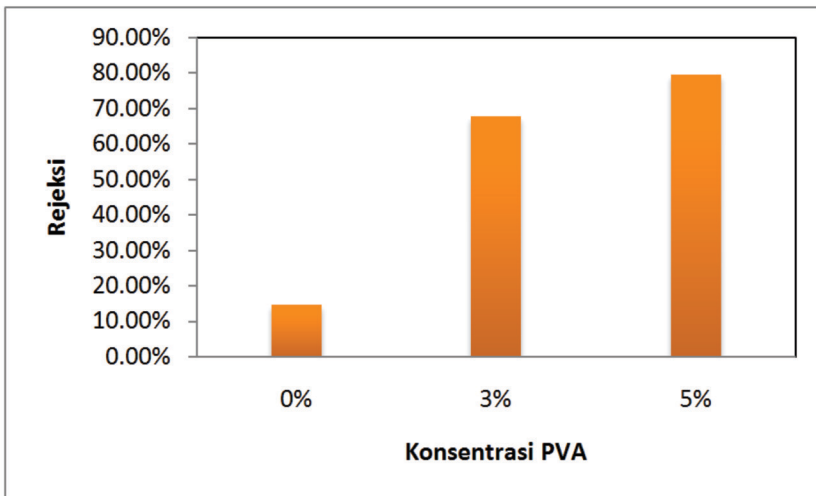
Gambar 511. Hubungan fluks pada proses pemsahan zat warna

Gambar 5.11 menunjukkan bahwa nilai fluks pada PVA 0% mencapai 0,0116 L/m²jam, sedangkan pada PVA 3% mencapai 0,0068 L/m²jam dan pada PVA 5% mencapai 0,0037 L/m²jam. Dapat disimpulkan bahwa semakin tinggi komposisi polivinil alkohol maka ukuran pori semakin kecil dan fluks semakin rendah. Ini terjadi karena semakin lama waktu yang digunakan untuk pemurnian maka semakin banyak impuritas yang tertahan pada membran yang dapat menutupi pori-pori membran. Sehingga permeat yang dihasilkan semakin sedikit. Adanya profil ketidakteraturan fluks disebabkan adanya ketidakteraturan kinerja pada pompa peristaltic yang digunakan. Fluks membran hybrid dengan komposisi polivinil alkohol 7% dan 10 % tidak dapat menghasilkan permeat maka tidak bisa dipakai untuk aplikasi zat warna dengan model biasa. Perlu penambahan vakum pada sisi permeat untuk menaikkan fluks.

2. Rejeksi

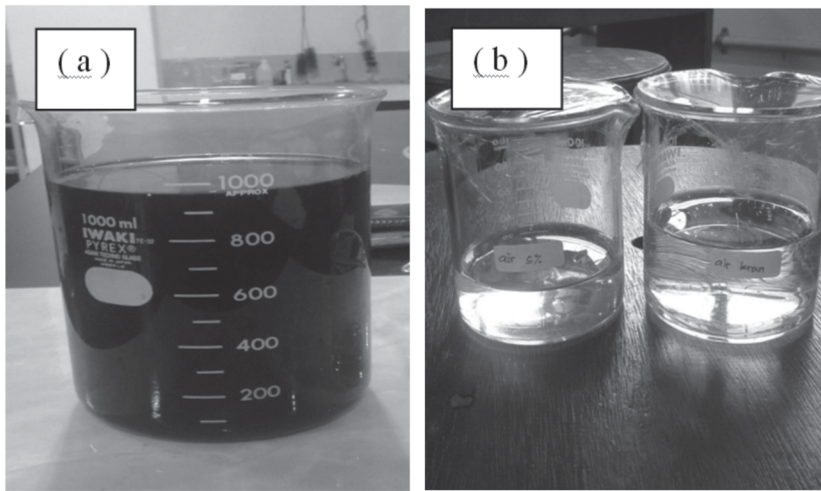
Rejeksi merupakan kemampuan membrane untuk melewati pelarut dan menahan zat terlarut. Profil rejeksi

membran hybrid dengan berbagai komposisi polivinil alkohol dapat diketahui pada Gambar 5.12.



Gambar 5.12. Hubungan rejeksi dengan komposisi polivinil alkohol terhadap membran hybrid

Gambar 5.12 menunjukkan bahwa nilai rejeksi pada PVA 0% sebesar 14,52% sedangkan PVA 3% sebesar 67,72% dan pada PVA 5% sebesar 79,48%. Dapat disimpulkan bahwa semakin tinggi komposisi Polivinil Alkohol maka matrik polimer semakin rapat, sehingga menghasilkan pori-pori yang lebih kecil pada membran, jika pori-pori semakin kecil maka koefisien rejeksi semakin besar.



Gambar 5.12. Limbah batik: (a) sebelum proses filtrasi; (b) setelah proses filtrasi

APLIKASI MEMBRAN KERAMIK HYBRID DARI ZEOLIT ALAM PADA PENGOLAHAN LIMBAH LAUNDRY

A. Pendahuluan

Manusia membutuhkan pakaian bersih dalam kehidupan sehari-harinya. Proses pencucian pakaian kotor (*laundry*) pada akhirnya juga menjadi kebutuhan rutin setiap hari. Proses *laundry* secara umum mengkonsumsi banyak air. Jumlah air yang dikonsumsi dan dibuang sangat dominan. Dari keseluruhan limbah yang dibuang, 50–70 % terdiri atas air. Besarnya jumlah air limbah *laundry* yang dibuang berhubungan erat dengan tahap-tahap proses di dalam proses *laundry* yang membutuhkan banyak air. Pembuangan air secara besar-besaran ini sungguh ironis jika kita menyadari bahwa persediaan air baku di alam sudah semakin sedikit dan kualitasnya pun jauh menurun.

Limbah *laundry* sering dibuang ke lingkungan tanpa melalui pengolahan sebelumnya. Limbah *laundry* dalam jumlah yang besar masuk ke badan air akan mempengaruhi kualitas air. Air limbah *laundry* mengandung deterjen yang merupakan suatu derivatik zat organik sehingga akumulasinya menyebabkan meningkatnya kandungan organik. Deterjen mengandung beberapa bahan yaitu surfaktan, *builders*, *fillers*, dan *additives*. Adapun beberapa kandungan deterjen tersebut sangat membahayakan bagi lingkungan. Dampak pengaruh kualitas air

akan mempengaruhi ekosistem aquatik serta kesehatan manusia.

Limbah *laundry* mengandung fosfat 9,9 mg/L, TSS 35 mg/L, COD 280 mg/L dan BOD5 195 mg/L. Sumber bahan pencemar berasal dari pemakaian deterjen sebagai bahan pencuci. Deterjen digunakan karena memiliki daya cuci yang baik dan tidak terpengaruh kesadahan air. Akan tetapi memiliki kandungan fosfat yang cukup tinggi karena fosfat merupakan bahan pembentuk utama dalam deterjen (Rosariawari, 2010).

Total fosfat merupakan salah satu parameter penting dalam pengukuran kualitas limbah *laundry*. Baku mutu Parameter fosfat mengacu pada Peraturan menteri Lingkungan Hidup No 5 Tahun 2014 tentang baku mutu limbah cair bagi kegiatan domestik. Kehadiran fosfat yang cukup besar dalam badan air dapat menyebabkan terjadinya fenomena *eutrofikasi*. Keadaan ini menyebabkan kualitas air menjadi menurun, karena rendahnya konsentrasi oksigen terlarut bahkan sampai batas nol, sehingga menyebabkan kematian makhluk hidup air seperti ikan dan spesies lain yang hidup di air (Masqudi, 2004).

Zat yang dominan terkandung dalam deterjen adalah senyawa ionik berupa natrium tripolifospat yang berfungsi sebagai builder dan surfaktan (Wardhana dkk., 2009). Limbah *laundry* juga mengandung fosfat tinggi sekitar 9,9 mg/L dan nilai COD (*Chemical Oxygen Demand*) sebesar 280 MgO_2/l melebihi baku mutu yang telah ditetapkan sehingga diperlukan pengolahan terlebih dahulu sebelum dibuang ke badan air

TSS, warna dan COD merupakan bagian parameter fisik dan kimia dalam tinjauan kualitas air limbah *laundry*. Warna dalam limbah *laundry* dapat disebabkan material yang terkandung dalam limbah tersebut. Limbah *laundry* banyak mengandung sejumlah surfaktan, *carboxyl methyl cellulose* (CMC), minyak tumbuhan, kalsium (Ca), fosfat (P), SiO_3^{2-} , pemutih pakaian dan tanah. TSS dapat disebabkan karena adanya kandungan organik dan

anorganik, sedangkan COD disebabkan oleh adanya kandungan organik. Pengukuran konsentrasi warna dapat digunakan sebagai pengamatan fisik atau visualisasi pada limbah tanpa mengetahui jumlah kandungan organik dan anorganiknya. Sedangkan pengukuran konsentrasi COD dan TSS lebih ditekankan untuk mengetahui nilai konsentrasi kandungan organik dan anorganik yang terkandung dalam limbah tersebut. Sehingga dengan penurunan warna, TSS dan COD dapat mewakili parameter yang terkandung dalam limbah *laundry*.

Tabel 6.1 karakteristik Limbah *laundry*

Parameter	Erikson <i>et al.</i> (2002)	Hoinkis (2008)	Ge <i>et al.</i> (2004)	Savitri (2007)
Temperatur (°C)	28-32	5-30	-	27
pH	9,3-10	9-11	7,83-9,5	8,2-8,8
Kekeruhan (NTU)	50-210	-	471-583	-
Surfaktan (mg/l)	-	-	72,3-64,5	20,6
COD (mg/L)	735	1050	785-1090	1815
BOD (mg/L)	150-380	-	-	1087
TSS (mg/L)	120-280	-	-	-
Fosfat (mg/L)	4-15	5	-	7,64
Total Nitrogen (mg/L)	6-21	40	-	-

Sumber: Hudori, 2008

Menurut Peraturan Gubernur Jawa Tengah No. 5 tahun 2012 dan Peraturan Pemerintah No. 5 Tahun 2014 tentang baku mutu air limbah sabun dan deterjen, seperti pada Tabel 6.2. dibawah ini:

Tabel 6.2. Baku mutu limbah sabun dan deterjen

No.	PARAMETER	KADAR MAKSIMUM (mg/L)	BEBAN PENCEMARAN MAKSIMUM Kg/ton Produk	
			SABUN	DETERGEN
1	BOD ₅	75	0,60	0,075
2	COD	180	1,44	0,180
3	TSS	60	0,48	0,060
4	Minyak dan Lemak	15	0,12	0,015
5	Phosphat, PO ₄	2	0,016	0,002
6	MBAS	3	0,024	0,003
7	pH	6,0-9,0		
8	Debit Maksimum		8 m ³ /ton produk	1 m ³ /ton produk

Secara konvensional pengolahan limbah *laundry* dapat dilakukan secara kimia dengan menggunakan alum, penggunaan alum masih menyisakan banyak tantangan. Dosis alumunium yang berlebih berbahaya bagi manusia dan hewan ternak. Penyakit ginjal dan *alzheimer* (pikun) adalah penyakit yang disebabkan oleh alumunium yang tinggi konsentrasinya dalam air. Pengolahan secara biologi untuk limbah cair umum dilakukan, namun kendalanya di lingkungan perkotaan yang padat penduduk persoalan tempat menjadi kendala karena proses biologi membutuhkan tempat yang besar.

Teknologi membran kini penggunaannya semakin meluas termasuk dalam bidang pengolahan limbah. Teknologi membran memiliki banyak keunggulan dalam pemakaiannya antara lain ramah lingkungan, tingkat penyisihan yang tinggi, lebih ekonomis, dan membutuhkan tempat relatif kecil.

B. Spesifikasi Membran

Pada aplikasi yang telah dilakukan, membran keramik hibrid yang digunakan adalah dari zeolit alam - *polyvinyl alcohol*

(PVA). Hasil pengujian karakterisasi membran hybrid pada suhu sintering 900°C dapat dilihat pada tabel dibawah ini.

Tabel 6.3 Spesifikasi membran keramik hybrid dari zeolit alam

Parameter	Nilai
Densitas	1,8 gr/cm ³
Porositas	32,2 %
Penyerapan air	17,91 %

Nilai densitas pada membran yaitu sebesar 1,8 gr/cm³. Hal tersebut menggambarkan berat kering pada suatu volume bahan dalam keadaan utuh, sehingga volume bahan disini merupakan volume padatan dan ruang berpori. Sedangkan nilai porositas yang didapat dari hasil pengujian yaitu sebesar 32,2 % dan penyerapan air sebesar 17,91%. Porositas menunjukkan seberapa banyak pori membran yang terbentuk sedangkan penyerapan air menunjukkan seberapa banyak kemampuan membran untuk menyerap air.

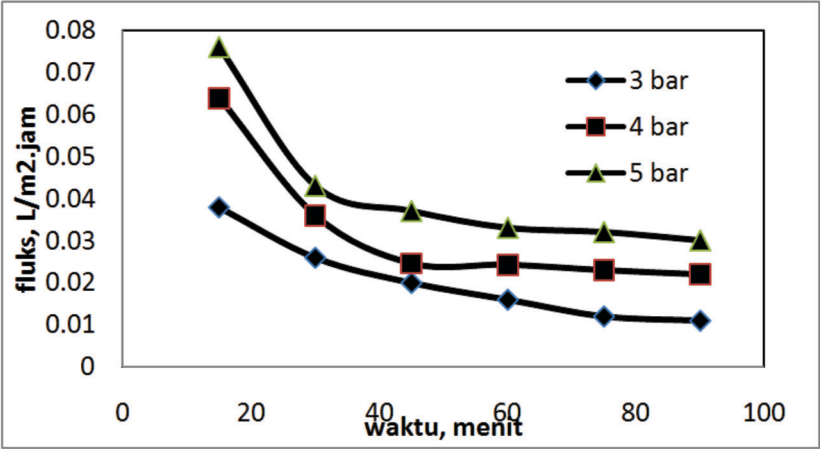
Uji permeabilitas membran digunakan untuk mengetahui membran termasuk dalam kategori mikrofiltrasi, ultrafiltrasi, atau nanofiltrasi. Permeabilitas membran dapat dihitung dari nilai fluks yang didapat dan kemudian membaginya dengan tekanan yang digunakan. Tekanan yang digunakan saat pengujian membran yaitu 3 bar, 4 bar dan 5 bar, sehingga permeabilitas membran hybrid dari zeolit alam - PVA dapat disimpulkan termasuk dalam kategori membran ultrafiltrasi karena memiliki permeabilitas membran rata-rata sebesar 47,31 L/m² jam.bar seperti yang ditunjukkan pada Tabel 5.3. Karakteristik struktur membran ultrafiltrasi beroperasi pada tekanan antara 1-5 bar dan batasan permeabilitasnya adalah 10-50 L/m² jam.bar.

Tabel 6.4. Permeabilitas membran hybrid dari zeolit alam

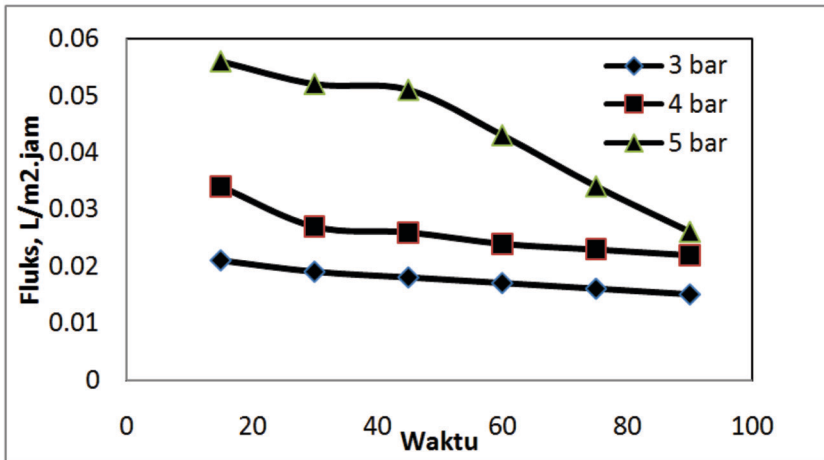
P (bar)	Jo (L/m ² .jam)	Jo/P (L/ m ² .jam.bar)
3	121,27	40,42
4	172,57	43,14
5	291,81	58,36

C. Fluks Membran

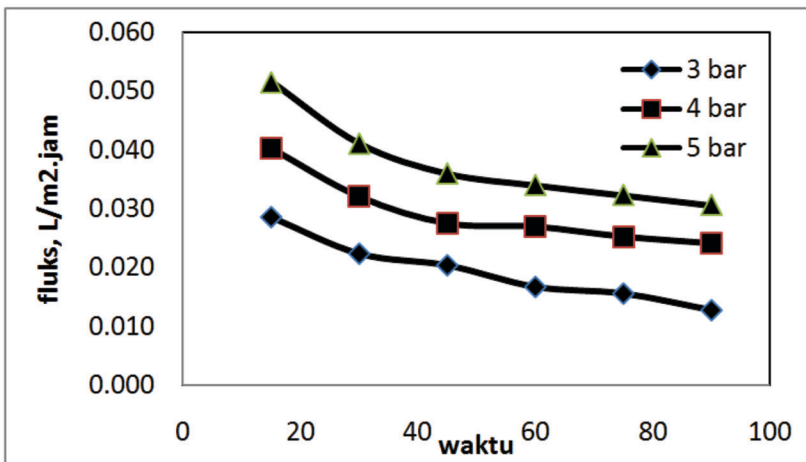
Fluks merupakan parameter terpenting kelayakan penerapan proses membran, karena fluks menentukan kebutuhan luas membran. Fluks umumnya tinggi pada awal operasi dan menurun dengan meningkatnya waktu operasi dan setelah waktu tertentu fluks mencapai kondisi tunak, dimana fluks tidak mengalami perubahan secara berarti dengan meningkatnya waktu operasi. Nilai fluks pada kondisi ini selain dipengaruhi oleh jenis membran, juga dipengaruhi oleh kondisi operasi seperti kecepatan aliran umpan. Fluks pada membran keramik hybrid dari zeolit alam dengan PVA 7% dengan konsentrasi limbah 100%, 75%, 50%, 25% pada berbagai tekanan dapat dilihat pada Gambar 6.1 sampai dengan 6.4.



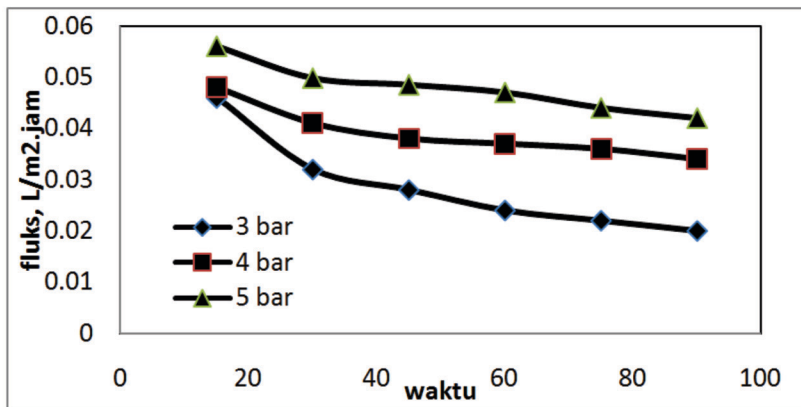
Gambar 6.1 Fluks membran dengan konsentrasi limbah 100% pada berbagai tekanan



Gambar 6.2 grafik fluks dan waktu dalam berbagai tekanan pada konsentrasi limbah 75%



Gambar 6.3 grafik fluks dan waktu dalam berbagai tekanan pada konsentrasi limbah 50%



Gambar 6.4 grafik fluks dan waktu dalam berbagai tekanan pada konsentrasi limbah 25%

Nilai fluks menunjukkan semakin lama waktu filtrasi, nilai fluks akan semakin menurun. Perubahan nilai fluks ini disebabkan karena laju pembentukan cake yang berbeda tiap menit. Dari keempat grafik tersebut kita dapat melihatnya bahwa sebagian besar pada menit ke-15-30, terjadi penurunan nilai fluks yang cukup signifikan karena pada menit awal membran masih bersih sehingga laju pembentukan *cake* masih kecil. Nilai fluks akan cenderung menurun seiring dengan bertambahnya waktu. Penurunan nilai fluks ini dapat disebabkan terjadinya *fouling* pada membran.

Tekanan transmembran pada proses membran berfungsi sebagai *driving force* dan merupakan salah satu parameter operasi yang paling penting pada proses membran. Tekanan transmembran secara langsung mempengaruhi besarnya fluks permeat. Peningkatan nilai fluks seiring dengan peningkatan tekanan terjadi karena semakin besar tekanan maka semakin besar pula daya dorong larutan menuju permukaan membran. Adanya peningkatan tekanan juga dapat mempercepat akumulasi solut dipermukaan membran. Proses akurnulasi terus berlanjut

hingga terbentuk lapisan gel (*cake layer*). Pada tahap ini nilai fluks tidak lagi tergantung pada tekanan membran, melainkan pada konsentrasi larutan umpan dan mekanisme perpindahan massa. Berdasarkan grafik yang diperoleh semakin besar tekanan maka nilai fluks yang dihasilkan semakin besar.

D. Rejeksi

Nilai rejeksi membran didefinisikan sebagai kemampuan suatu membran dalam menahan komponen tertentu pada larutan umpan. Indikator kinerja proses pemisahan dengan menggunakan teknologi filtrasi membran adalah fluks dan rejeksi. Indikator fluks terkait dengan besarnya produktivitas membran, sedangkan rejeksi terkait dengan kualitas bahan (*retentat*) dan permeat yang diperoleh.

Selain rejeksi, pada limbah air laundry terdapat beberapa parameter yang harus diperhatikan yaitu TDS, TSS, PH, conductivitas dan kekeruhan. Berikut adalah hasil analisis permeat limbah air *laundry* pada berbagai konsentrasi dapat dilihat pada Tabel 6.5.

Tabel 6.5 Hasil analisis permeat pada konsentrasi limbah 100%

Parameter	Feed	Permeat		
		3 bar	4 bar	5 bar
TDS	2,09 ppt	1,34 ppt	1,49 ppt	685 ppm
PH	10	9	8,5	7,5
Konduktivitas	4,17 mS	2,75 mS	3,10 mS	1370 μ S
Kekeruhan	255 NTU	30,9 NTU	8,57 NTU	8,02 NTU
Volume Total		25,26 ml	27,61 ml	43,18 ml
Rejeksi		88%	96,63%	96,85%

Tabel 6.6. Hasil analisis permeat pada konsentrasi limbah 75%

Parameter	Feed	Permeat		
		3 bar	4 bar	5 bar
TDS	1,26 ppt	407 ppm	456 ppm	447 ppm
PH	10	7	7	7
Konduktivitas	2,44 mS	814 μ S	916 μ S	896 μ S
Kekeruhan	205 NTU	5,58 NTU	7,65 NTU	6,76 NTU
Volume Total		12,06 ml	18,32 ml	20,75 ml
Rejeksi		97%	96,26%	96,70%

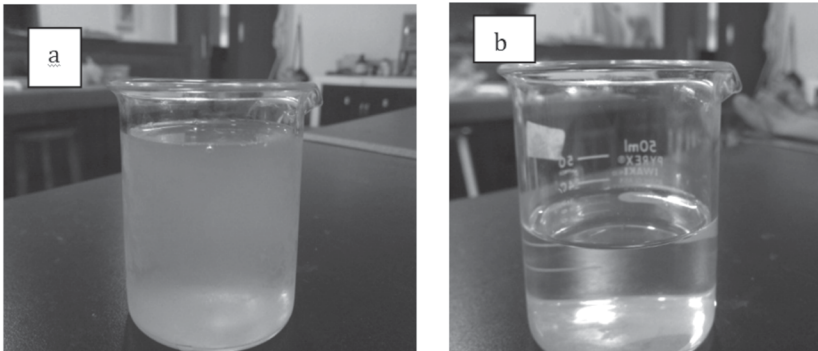
Tabel 6.7. Hasil analisis permeat pada konsentrasi limbah 50%

Parameter	Feed	Permeat		
		3 bar	4 bar	5 bar
TDS	1,06 ppt	587 ppm	569 ppm	419 ppm
PH	10	7	7	7
Konduktivitas	2,10 mS	1170 μ S	1157 μ S	830 μ S
Kekeruhan	137 NTU	19,5 NTU	6,5 NTU	5,63 NTU
Total Volume		27,03 ml	57,09 ml	69,83 ml
Rejeksi		86%	95,25%	95,89%

Tabel 6.8. Hasil analisis permeat pada konsentrasi limbah 25%

Parameter	Feed	Permeat		
		3 bar	4 bar	5 bar
TDS	598 ppm	401 ppm	470 ppm	485 ppm
PH	9	7	7	7
Konduktivitas	1192 μ S	807 μ S	933 μ S	858 μ S
Kekeruhan	79,5 NTU	4,88 NTU	8,03 NTU	3,31 NTU
Total Volume		17,68 ml	32,18 ml	34,11 ml
Rejeksi		94%	90,00%	95,83%

Dari hasil penelitian dapat kita ketahui bahwa semakin besar tekanan maka permeat yang dihasilkan juga semakin besar. Secara keseluruhan hasil analisis permeat menunjukkan adanya penurunan yang cukup signifikan. Rejeksi yang dihasilkan sudah cukup tinggi dengan hasil berkisar 86% - 97%.



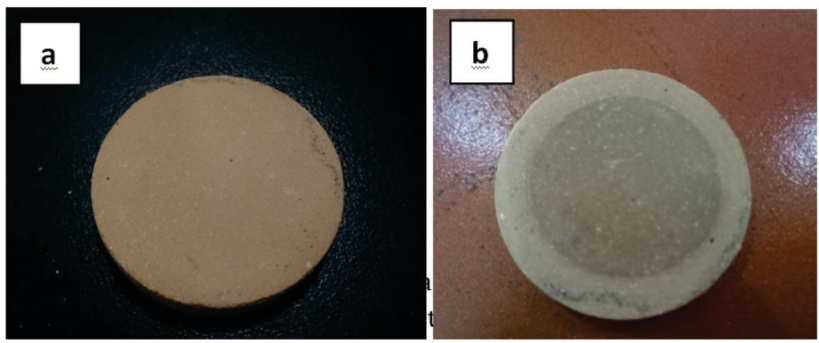
Gambar 6.5 Air limbah *laundry*: (a). Sebelum filtrasi; (b). Setelah filtrasi

Gambar 6.5 menunjukkan warna limbah air *laundry* sebelum filtrasi dan setelah filtrasi. Dengan besarnya nilai rejeksi maka kekeruhan pada permeat juga semakin kecil. Hal itu dapat dilihat dengan semakin jernihnya warna air limbah setelah filtrasi.

E. Fouling Membran

Fouling terjadi ketika zat yang terdapat pada air umpan membentuk deposit di permukaan membran atau di dalam struktur poros membran. Beberapa parameter yang mempengaruhi terjadinya *fouling* adalah sifat alami dan konsentrasi dari zat terlarut dan larutan, material membran, karakteristik permukaan membran, ukuran pori dan distribusi pori, dan hidrodinamika dari modul membran.

Fouling pada membran berdasarkan tempat terjadinya dapat dibedakan menjadi dua yaitu *fouling* eksternal dan *fouling* internal. *Fouling* internal disebabkan oleh adanya molekul atau koloid dalam pori membran, sedangkan *fouling* eksternal berkaitan dengan polarisasi dan partikel yang terejeksi pada permukaan membran. Eksternal *fouling* merupakan gejala awal yang menandai terbentuknya *cake layer*.



Gambar 6.6. Penampang membran: (a). sebelum Filtrasi; (b). setelah filtrasi

Gambar 6.6 menunjukkan gambar membran sebelum filtrasi dan setelah filtrasi. Membran setelah filtrasi dapat kita lihat di permukaan membran terdapat lingkaran. Dimana lingkaran tersebut adalah foulant yang tertahan di permukaan membran pada saat proses filtrasi.

Tabel 6.9. Mekanisme *fouling* pengolahan limbah laundry

No.	Konsentrasi	Mekanisme
1	100%	<i>Cake/layer Formation</i>
2	75%	<i>Complete Blocking</i>
3	50%	<i>Cake/layer Formation</i>
4	25%	<i>Cake/layer Formation</i>

Berdasarkan Tabel 6.9 mekanisme *fouling* dapat di ketahui bahwa jenis *fouling* pada air limbah laundry yaitu *cake formation*. Konsentrasi tidak berpengaruh terhadap mekanisme fouling. Hal ini kemungkinan terjadi karena ukuran pori pada detergen lebih besar dibandingkan dengan ukuran pori pada membran ultrafiltrasi yaitu $0,01\ \mu\text{m}$ – $0,1\ \mu\text{m}$ meskipun telah diencerkan.

F. Analisis BOD dan COD

BOD atau *Biochemical Oxygen Demand* adalah suatu karakteristik yang menunjukkan jumlah oksigen terlarut yang diperlukan oleh mikroorganisme (biasanya bakteri) untuk mengurai atau mendekomposisi bahan organik dalam kondisi aerobik (Umaly dan Cuvin, 1988; Metcalf & Eddy, 1991). Sedangkan COD atau *Chemical Oxygen Demand* adalah jumlah oksigen yang diperlukan untuk mengurai seluruh bahan organik yang terkandung dalam air (Boyd, 1990). Selisih nilai antara COD dan BOD memberikan gambaran besarnya bahan organik yang sulit terurai yang ada di perairan. Bisa saja nilai BOD sama dengan COD, tetapi BOD tidak bisa lebih besar dari COD. Jadi COD menggambarkan jumlah total bahan organik yang ada (Atima, 2015).

Pengukuran COD dilakukan dengan metode SNI 06-6989.15:2004 sedangkan BOD menggunakan metode SNI 06-2503-1991. Berdasarkan tabel diatas dapat kita ketahui bahwa kandungan COD pada air limbah laundry 100% tanpa pengenceran yaitu sebesar 7480 mg/l. Setelah di filtrasi menggunakan membran, kandungan COD berkurang menjadi 770 mg/l. Kandungan COD terus mengalami penurunan seiring dengan turunnya konsentrasi limbah air laundry, yaitu pada konsentrasi 75% sebesar 342 mg/l dan pada konsentrasi 50% sebesar 294 mg/l. Namun pada konsentrasi 25% mengalami kenaikan sebesar 316 mg/l.

Tabel 6.10 Hasil pengukuran COD dan BOD pada air limbah laundry

No.	Parameter	satuan	Hasil Uji				
			Feed	permeat 100%	permeat 75%	permeat 50%	permeat 25%
1	COD	mg/l	7480	770	342	294	316
2	BOD	mg/l	889,18	174,18	52,98	63,18	60,58
% Penurunan COD		%		89,71	93,90	92,14	83,10
% Penurunan BOD		%		80,41	92,06	85,79	72,75

Sedangkan untuk hasil BOD pada konsenrasi air limbah laundry 100% tanpa pengenceran sebesar 889,19 mg/l. Hasil filtrasi menggunakan membran menunjukan bahwa kandungan BOD pada konsentrasi 100%, 75%, 50%, 25% mengalami penurunan yaitu sebesar 174,18 mg/l; 52,98 mg/l; 63,18 mg/l dan 60,58 mg/l.

Pada hasil filtrasi dari keempat konsentrasi menunjukan bahwa kandungan COD masih belum mampu menurunkan sesuai dengan standar baku mutu air yang di tetapkan menurut Peraturan Gubernur Jawa Tengah No. 5 tahun 2012 dan Peraturan Pemerintah No. 5 Tahun 2014 tentang baku mutu air limbah sabun dan deterjen yaitu sebesar 180 mg/l. Untuk BOD pada konsentrasi limbah 100% juga belum sesuai dengan standar baku mutu air. Sedangkan pada konsentrasi 75% 50% dan 25% sudah sesuai dengan standar yaitu di bawah 75 mg/l.

Berdasarkan persentase penurunan COD dan BOD pada konsentrasi air limbah laundry 75% didapatkan bahwa persentase penurunannya sangat tinggi yaitu 93,90% dan 92,06%. Pada penelitian yang dilakukan oleh Afifah dan Damayanti (2016) dengan menggunakan membran keramik dari zeolit pada konsentrasi air limbah air laundry 50% persentase penurunan COD sebesar 86,7% dan pada konsentrasi air limbah laundry 100% sebesar 91,26%.

Dengan melihat kandungan COD yang masih tinggi pada tiap konsentrasi maka dapat dikatakan bahwa untuk senyawa divalen dan monovalen tidak bisa larut sempurna dalam membran zeolit. Membran zeolit dapat menurunkan kandungan COD namun belum bisa sampai dengan baku mutu air yang dianjurkan.

APLIKASI MEMBRAN HIBRID DARI ZEOLIT ALAM-PVA UNTUK DESALINASI AIR LAUT

A. Pendahuluan

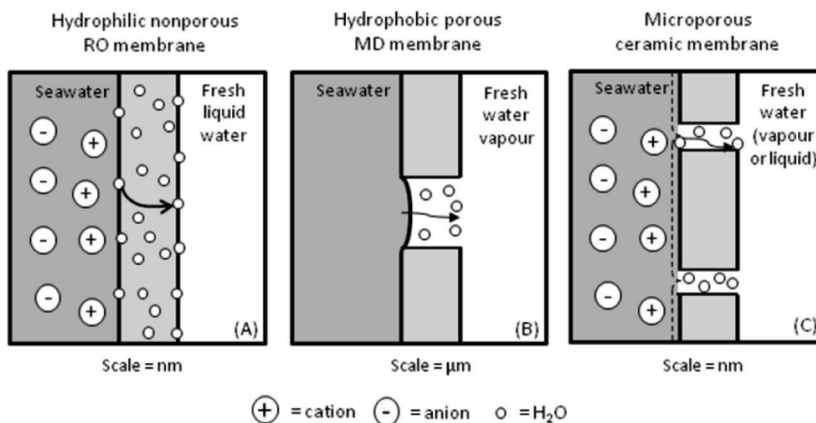
Air bersih merupakan kebutuhan yang sangat vital bagi kehidupan manusia. Akan tetapi karena sistem manajemen pengolahan sumberdaya air tidak baik maka pemenuhan kebutuhan air bersih menjadi kendala terutama di daerah pesisir pantai. Salah satu sumber air bersih yang jumlah berlimpah bagi masyarakat di pesisir pantai adalah air laut. Akan tetapi air laut memerlukan proses pengolahan sebelum dapat digunakan sebagai air bersih untuk kebutuhan sehari-hari.

Proses penyulingan air laut untuk industri biasanya menggunakan flash evaporator bertingkat (*multistage flash evaporators/MSF*) atau distilasi multi efek (*multiple effect distillation / MED*). Metode ini kurang cocok untuk industri kecil ataupun untuk skala rumah tangga karena membutuhkan investasi dan energi yang besar. Pengembangan proses desalinasi air laut saat ini menggunakan teknologi membran karena kebutuhan investasi dan energi yang relatif lebih rendah (Drioli *et.al*, 2006).

Air laut merupakan campuran dari 96,5% air murni dan 3,5% material lainnya seperti garam-garaman, gas-gas terlarut, bahan-bahan organik dan partikel-partikel tak terlarut. Air laut

mengandung garam, oleh karena itu rasanya menjadi asin. Rata-rata air laut mengandung 3,5 % garam. Artinya dalam setiap 1 kg air laut kandungan garamnya sebanyak 35 gram. Kandungan unsur kimia dalam air laut: Clorida (Cl), Natrium (Na), Magnesium (Mg), Sulfur (S), calium (Ca), Kalsium (K), Brom (Br), Carbon (C), Kromium (Cr), Boron (B).

Proses desalinasi air laut dengan menggunakan teknologi membrane dapat dilakukan dengan 3 metode, yaitu osmosis balik (*reverse osmotic* / RO), distilsai membrane (*membrane distillation* / MD) dan pervaporasi (*pervaporation* / PV) (Elma *et.al.*, 2012). Membran yang digunakan pada proses desalinasi pada umumnya menggunakan membrane polimer. Akan tetapi membran ini mempunyai kelemahan seperti fluks yang rendah, stabilitas termal dan kimia juga rendah. Untuk memperbaiki membrane polimer dapat digunakan membran hybrid, yaitu campuran antara polimer dan non-polimer. Salah satu membrane non polimer adalah membrane keramik. Membrane polimer ini bersifat porous sehingga hanya berfungsi sebagai penyangga. Penggunaan membrane hybrid ini bertujuan untuk melingkarkan fluks membrane dana stabilitas thermal dan kimia.



Gambar 7.1. Skema proses desalinas air laut (Elma, et.al., 2012).

B. Spesifikasi Membran

Membran keramik hybrid yang digunakan adalah dari zeolit alam - *polyvinyl alcohol* (PVA)/*polyethylene glycol* (PEG). Hasil pengujian karakterisasi membran hibrid pada suhu sintering 900°C dapat dilihat pada tabel dibawah ini.

Tabel 7.1 Spesifikasi membran keramik hybrid dari zeolit alam

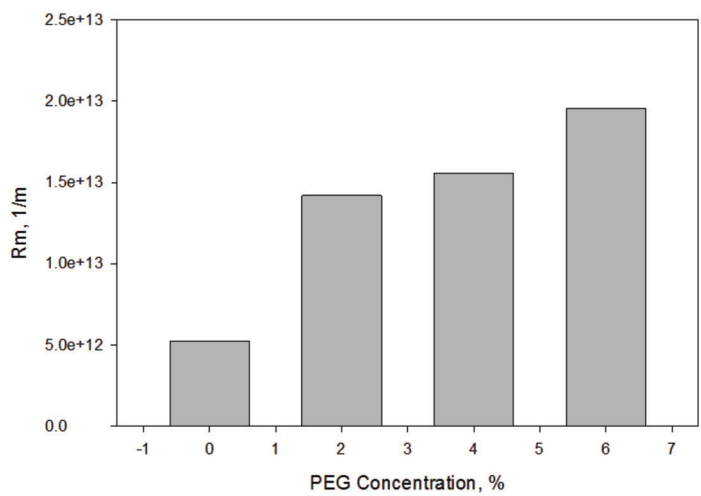
Parameter	Nilai
Densitas	1,8 gr/cm ³
Porositas	32,2 %
Penyerapan air	17,91 %

Hasil pengujian permeabilitas membrane hybrid zeolit alam - PVA dengan penambahan PEG pada tekanan 5 bar berkisar antara 23 - 31 lt/m².jam/bar.

Tabel 7.2. Spesifikasi membran keramik hybrid dari zeolit alam-PVA

konsentrasi PEG, %	Fluks, L/m ² .jam	Permeabilitas, L/m ² .jam.bar
0	433,69	86,74
2	158,99	31,80
4	144,99	29,00
6	115,54	23,11

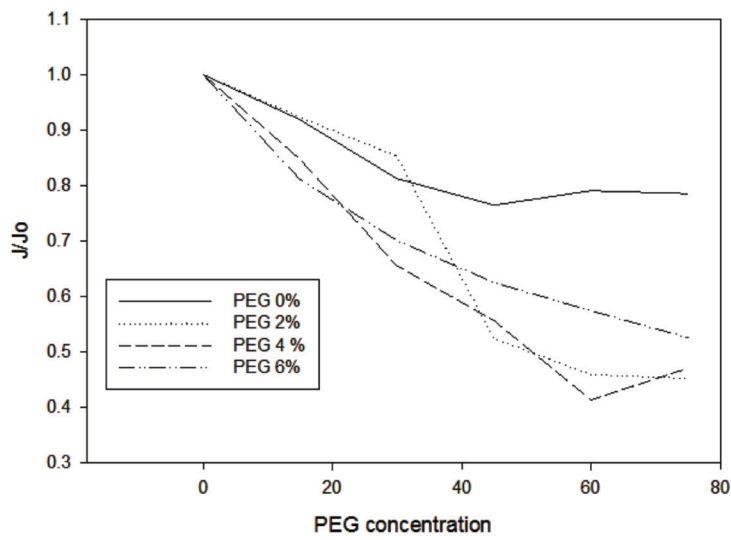
Perhitungan tahanan membran menunjukkan bahwa dengan semakin tinggi konsentrasi PEG yang ditambahkan maka tahanan membrane akan semakin meningkat. Tahanan membran tertinggi pada konsentrasi PEG 6% dengan nilai tahanan membrane $1,9 \times 10^{13} \text{ m}^{-1}$. Biron *et al.* (2015) melaporkan bahwa membran hybrid α -alumina - PA 66 memiliki nilai resistansi membran sebesar $2,85 \times 10^{13} \text{ m}^{-1}$.



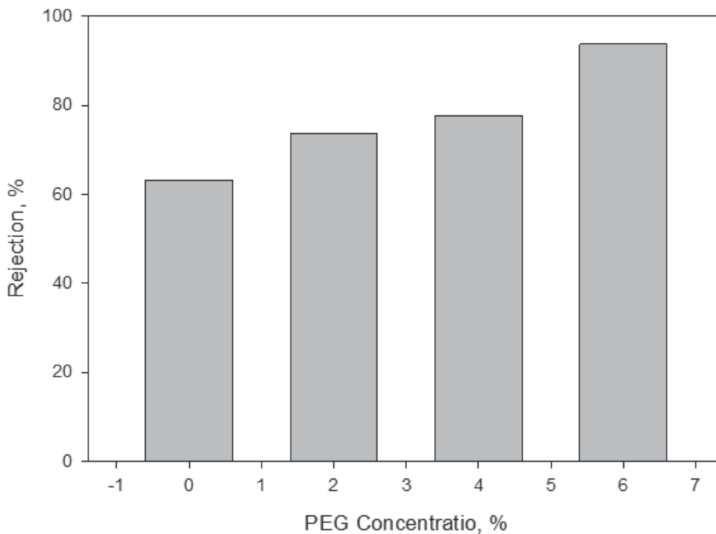
Gambar 7.2. Tahanan membrane hybrid zeolit alam-PVA

C. Fluks dan Rejeksi Membran pada Desalinasi Air Laut

Gambar 7.3 menunjukkan fluks membran pada proses desalinasi air laut. Penurunan fluks sangat signifikan pada waktu 0 – 60 menit.



Gambar 7.3. Fluks membran hybrid zeolit alam-PVA pada desalinasi air laut.



Gambar 7.4. Rejeksi membran hybrid zeolit alam-PVA pada desalinasi air laut.

Rejeksi terbesar diperoleh pada penambahan PEG 6% dengan rejeksi mencapai 93,77% pada tekanan 5 bar. Dapat disimpulkan bahwa penambahan PEG pada larutan dope PVA 7% dapat meningkatkan rejeksi pada desalinasi air laut.

D. Tahanan *Fouling* pada Desalinasi Air Laut

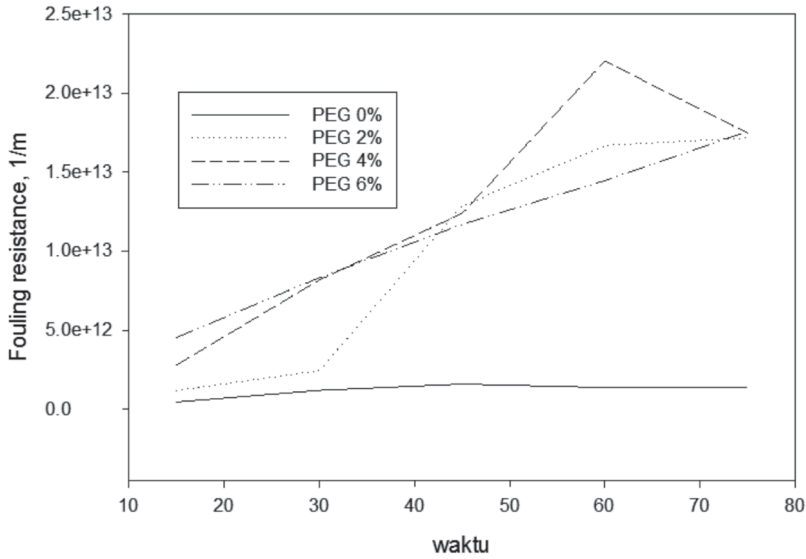
Fluks membran selama proses filtrasi digambarkan sebagai trans membrane pressure (TMP) dibagi dengan viskositas dan total mass transfer (R_t).

$$J = \text{TMP} / (R_t \cdot \mu) \quad (7.1)$$

Dimana R_t adalah tahanan total yang merupakan jumlah tahanan membran dan tahanan fouling. Berdasarkan persamaan (3.7), tahanan fouling dapat dihitung dengan menggunakan persaaamn berikut:

$$R_f = R_t - R_m \quad (7.2)$$

Gambar 7.5 menunjukkan tahanan *fouling* pada proses desalinasi air laut. Berdasarkan Gambar 7.5 dapat diketahui bahwa semakin tinggi konsentrasi PEG, maka tahanan *fouling* semakin besar.



Gambar 7.5. Tahanan *fouling* pada desalinasi air laut

Daftar Pustaka

- Achiou, B., Elomari, H., Bouazizi, A., Karim, A., Ouammou, M., Albizane, A., El Amrani, I. E. 2017. Manufacturing of tubular ceramic microfiltration membran based on natural pozzolan for pretreatment of seawater desalination. *Desalination*, 419.
- Afifah, A. S. dan Damayanti, A. 2016. Influence of Addition Silica, Velocity of Centrifuge and Waste Water Concentration On Characteristic of Zeolite-Silica Membrane. *Jurnal Purifikasi*, 16(2).
- Aryanti, N., Wardhani, D.H. and Supandi, S. 2017. Flux Profiles and Mathematical Modeling Of Fouling Mechanism for Ultrafiltration of Konjac Glucomannan. *Scientific Study & Research:Chemistry & Chemical Engineering, Biotechnology, Food Industry*, 17(2):125 – 137.
- Baker, R. W. 2004. *Membran Technology and Application*. John Wiley & Sons, Inc.
- Beyer M, Lohrengel B, Nghiem LD. 2010. Membrane fouling and chemical cleaning in water recycling applications. *Desalination*, 250: 977–981
- Biron, D.S. et al. 2015. Preparation and Characterization of PA66/ Alumina Composite Membrane. *Materials Research*. 2015, 18(4): 748-755
- Drioli, E., Curcio, E., and Fontananova E. 2006. Mass Transfer Operation : Hybride Membrane Process, Chemical Engineering and Chemical

Process Technology, Vol. II

- Elma, M, et. al. 2012. Microporous Silica Based Membranes for Desalination, *Water*, 4 : 629 – 649.
- Elomari, H., Achiou, B., Karim, A., Ouammou, M., Albizane, A., Bennazha, J., Elamrani, I. 2017. Influence of starch content on the properties of low cost microfiltration membrans. *Journal of Asian Ceramic Societies*, 5(3).
- Issaoui, M., & Limousy, L. 2019. Low-cost ceramic membranes: Synthesis, classifications, and applications. *Comptes Rendus Chimie*, 22(2-3).
- Lee, S. and Elimelech, M. 2007. Salt cleaning of organic-fouled reverse osmosis membranes. *Water Res*, 41: 1134-1142
- Lestari, D. Y. 2010. Kajian Modifikasi Dan Karakterisasi Zeolit Alam Dari Berbagai Negara. *Prosiding Seminar Nasional Kimia dan Pendidikan Kimia*.
- Mangun W. dan Darmoko. 1991. Diktat. Pusat Antar Universitas. IPB. Bogor
- Masqudi, A. 2004. Penurunan Senyawa Fosfat Dalam Air Limbah Buatan Dengan Proses Adsorpsi Menggunakan Tanah Halosit. *Majalah IPTEK*. Jakarta.
- Mulder, M. 1996. Basic Principles of Membrane Technology. Netherlands: Kluwer Academic Publisher.
- Notodarmojo, S., Zulkarnain, T., Mayasanthi, D. dan Irsyad M. 2004. Efek Pretreatment Terhadap Pembentukan Lapisan Cake dan Struktur Membrane pada Membran Ultrafiltrasi Aliran Cross-flow dalam Pengolahan Limbah Cair Emulsi Minyak. *Prooceding ITB Sains dan Teknologi*, 36(2):127 – 144.
- Pandey, S.R., Jegatheesan, V., Baskaran, K., Shu, L. 2012. Fouling

in reverse osmosis (RO) membrane in water recovery from secondary effluent: a review. *Environ Sci Biotechnol*, 11:125-145.

Porcelli N. dan Judd S. 2010. Chemical cleaning of potable water membranes: A review. *Separation and Purification Technology*, 71: 137-143.

Rosariawari, F. 2010. Efektifitas Multivalen Metal Ions Dalam Penurunan Kadar Phospat Sebagai Bahan Pembentuk Deterjen. *Envirotek : Jurnal Ilmiah Teknik Lingkungan*, Vol. 2, No.1. Program Studi Teknik Lingkungan FTSP. Universitas Pembangunan Nasional. Surabaya.

Sumarto. 2005. Kajian kinerja proses membran nanofiltrasi dalam pemisahan asam amino dari hidrolisat enzimatis protein cacing tanah (*Lztmbricus rubellus*). Thesis. Sekolah Pascasarjana. Institut Pertanian Bogor.

Tzotzi et al. 2007. A study of CaCO_3 scale formation and inhibition in RO and NF membrane processes. *Journal of Membrane Science*. 296:171 - 178

Wardhana, W. I. et al. 2009. Penurunan Kandungan Phospat Pada Limbah Cair Industri Pencucian Pakaian (Laundry) Menggunakan Karbon Aktif Dari Sampah Plastik Dengan Metode Batch Dan Kontinyu. *Teknik Lingkungan*, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro: Semarang.

Wenten, I. G. 1999. *Telmologi Membran Industrial*. Bandung : Institute Teknologi Bandung.

Wenten, I. G.. 2002. *Teknologi membran untuk Pemanfaatan Kembali Limbah Air Buangan Laundry*. Departemen Teknik Kimia Institut Teknologi Bandung. 2007).

Indeks

A

Arifin iv

B

Baker 2, 81
Bechhold 2
bentonit 4
Biofouling 32

D

densitas 21, 22, 37, 38, 47, 48, 51,
63

E

efisiensi energi 2
Ekstrusi 20

F

feldspatik 11, 12, 13
fenomena eutrofikasi 60
Fluks 24, 25, 55, 56, 64, 77, 78, 79
fouling 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31,
32, 33, 34, 35, 66, 69, 70, 79,
80, 81
fouling irreversibel 31, 33
fouling reversibel 31, 32

G

Guell dan Davis 29

K

kaolin 4, 18
kekuatan mekanik 4
kolonisasi mikroba 32

kondisi geologi 4

L

Limbah laundry 59, 60, 61
López-Ramírez 33

M

macroporous 3
Membran 1, 2, 3, 4, 17, 19, 21, 24,
25, 28, 37, 42, 47, 50, 51, 53,
54, 62, 64, 69, 70, 73, 76, 77,
78, 81, 82, 83
membran keramik 3, 4, 5, 7, 14, 17,
18, 19, 20, 21, 23, 37, 38, 39,
40, 41, 42, 43, 47, 48, 49, 50,
52, 53, 54, 62, 63, 64, 72, 77
Metode pressing 19
mikroba 32, 33, 45
mikropori 3
Mohanunadi 30
molecular sieving 9
Mulder 2, 82

N

Notodarmojo 34, 82

O

organik 13, 31, 32, 59, 60, 61, 71,
75

P

partikel suspensi, 17
penggunaan energi 2
pertumbuhan mikroba 32
piezoelektrik tipis 19

polaritas molekul 10
Polasiasi konsentrasi 25
polimer sintetis 14
Porcelli dan Jud 31
porositas 4, 14, 21, 22, 38, 39, 40, 48, 49, 52, 63
proses filtrasi 25, 26, 27, 28, 29, 31, 33, 55, 58, 70, 79
proses sintering 4, 5

R

Rejeksi 24, 56, 67, 68, 78, 79

S

selulosa asetat 2, 33
selulosa nitro 2
semipermeable 1
Slip casting 18
Sumarto 29, 83

T

tanah liat 4, 11, 12, 13, 14, 15, 47, 48, 49, 50, 54, 55
tangki reservoir 19
tape casting 17, 18, 19
Teknologi membran 1, 2, 62, 83
tenaga endogen 12

W

water absorption 22, 40, 41, 49, 50, 52, 53

Z

Zeolit 7, 8, 9, 10
Zeolit alam 7

Biografi Penulis



Nama lengkap **Anwar Ma'ruf**, lahir di Pemalang tanggal 4 Februari 1975. Menyelesaikan Pendidikan SD – SMA di kota Pemalang. Penulis menyelesaikan pendidikan S1 di program studi Teknik Kimia UNDIP lulus tahun 1998. Penulis kemudian melanjutkan Pendidikan S2 di program studi Teknik Kimia UGM dan lulus tahun 2002. Selama beberapa tahun menjadi pejabat struktural di Universitas Muhammadiyah Purwokerto. Pada tahun 2015 penulis melanjutkan studi S3 di program studi Teknik Kimia UNDIP, dan lulus pada tahun 2019. Saat ini penulis aktif sebagai staff pengajar di program studi Teknik Kimia UMP.



Nama lengkap **Agus Mulyadi Purnawanto**, lahir di Sampang, 16 Agustus 1970. Menyelesaikan Pendidikan SD – SMA di Sampang, Madura. Penulis menyelesaikan Pendidikan S1 di program studi Agronomi, Fakultas Pertanian, Univ Bangkalan Madura lulus 1994. Penulis kemudian melanjutkan Pendidikan S2 di Program Studi Ekologi Tanaman UNIBRAW lulus 1998. Saat ini penulis aktif di Biro Kemahasiswaan dan Alumni UMP dan pengajar di program studi Agroteknologi UMP.



M. Agus Salim Al Fathoni lahir di Temanggung, tanggal 27 Agustus 1964. Penulis kuliah S1 di program studi Teknik Sipil UGM dan lulus tahun 1993. Penulis kemudian menjadi dosen di jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik UMP tahun 1995 bersamaan dibukanya Program Studi Teknik Sipil sekaligus berdirinya Universitas Muhammadiyah Purwokerto. Gelar Magister Teknik didapatkan pada tahun 2001 di UGM dalam bidang Teknik Pantai. Saat ini menjabat Kepala Laboratorium Jalan dan Air program studi Teknik Sipil UMP.