

Penyisihan Logam Berat Timbal Dalam Air Limbah Industri Menggunakan Membran Keramik Berbasis Fly Ash, Clay Dan Arang Aktif Tempurung Kelapa Sawit

Selvie Diana¹, Reza Fauzan², Munawar³, Ummi Habibah⁴ N Nahar⁵

^{1,2,3,4} Jurusan Teknik Kimia Politeknik Negeri Lhokseumawe
Jln. B.Aceh Medan Km.280 Buketrata 24301 INDONESIA

¹selviediana@pnl.ac.id

Abstrak— Pembuatan membran keramik berbasis fly ash, clay, dan arang aktif tempurung kelapa sawit (FCA) sudah dilakukan dan sudah diaplikasikan untuk penyisihan logam berat timbal dalam air limbah industry. Membran keramik dengan komposisi FCA 45%:40%:10% yang disintering pada suhu 700°C (Membran M1) mampu merejeksi logam berat Pb sampai 89% dengan nilai porositas dan densitas sebesar 38.13% dan 1,0026 gr/cm³. Berdasarkan analisa menggunakan *Scanning Electron Microscopy* (SEM) diketahui membran keramik M1 memiliki ukuran pori 2,2492 – 4,7602 µm dengan nilai fluks sebesar 115,459 L/m².jam. Analisa struktur kristal menggunakan XRD menunjukkan bahwa membran M1 memiliki struktur kristal yang didominasi oleh fasa quartz (SiO₂) dan illite ((KH₃O)Al₂Si₃AlO₁₀(OH)₂).

Kata Kunci— activated charcoal, clay, fly ash, ceramic membrane, microfiltration

Abstract— Ceramic membranes based on fly ash, clay, and palm shell activated charcoal (FCA) have been developed and applied for the removal of heavy metals like lead from industrial effluent. A ceramic membrane sintered at 700°C with an FCA composition of 45%: 40%: 10% (M1 Membrane) was able to reject heavy metal Pb up to 89% with porosity and density values of 38.13% and 1.0026 gr/cm³, respectively. According to investigation using Scanning Electron Microscopy (SEM), the M1 ceramic membrane has a pore size of 2.2492-4.7602 µm and a flux value of 115,459 L/m².hour. XRD investigation revealed that quartz (SiO₂) and illite (KH₃O) dominate the crystal structure of the M1 membrane.

Keywords— activated charcoal, clay, fly ash, ceramic membrane, microfiltration

I. PENDAHULUAN

Keberadaan logam berat dalam air limbah industry yang diantaranya adalah logam berat Pb dianggap paling berbahaya karena yang tinggi di lingkungan perairan sehingga dapat diserap oleh organisme hidup. Ketika logam berat tersebut masuk ke rantai makanan, konsentrasi logam berat yang besar dapat terakumulasi dalam tubuh manusia sehingga dapat mengakibatkan gangguan kesehatan yang serius [1]. Oleh karena itu diperlukan pengolahan air limbah industry dengan benar untuk dapat melepaskan timbal secara aman ke sistem perairan. Salah satu proses penyisihan logam berat timbal yang saat ini dikembangkan adalah aplikasi membran keramik mikrofiltrasi. Membran keramik umumnya terbuat dari berbagai bahan anorganik seperti silika, alumina, titania, zirkonia dan kaolin, akan tetapi bahan-bahan tersebut memiliki harga yang relatif mahal [2,3]. Clay yang banyak terdapat di alam, fly ash yang merupakan limbah samping dari industri semen serta arang aktif kelapa sawit yang berasal dari limbah industry kelapa sawit dapat dijadikan bahan campuran pembuatan membran keramik dengan harga yang relatif murah. Selain itu karakteristik fly ash dan clay yang memiliki ukuran partikel 1µm - 20µm mampu menghasilkan membran mikrofiltrasi sehingga dapat menyisihkan bakteri, logam berat, TSS dan kekeruhan dalam air sungai [4].

Pembuatan membran keramik untuk pengolahan air dan limbah sudah dilakukan oleh peneliti belakangan ini. Membran keramik berbahan dasar fly ash dan clay sudah berhasil dilakukan dengan komposisi fly ash:clay 60%:40% dan 65%:35% yang disintering pada suhu 700 °C dan 1000°C menghasilkan membran dengan ukuran pori 1,6 µm dan 0.64 µm serta mampu merejeksi banteri e.coli dalam air sungai hingga 99.04% [5,6]. Aplikasi membran keramik berbahan dasar clay-sawdust-diatomite yang disintering pada suhu 850

juga sudah dilakukan dan dapat menyisihkan TDS dalam air sungai hingga 64% [7]. Membran keramik dengan suhu sintering 1100 berbahan dasar clay juga dapat menyisihkan turbidity hingga 97% menggunakan sistem aliran dead end [8]. Selain itu aplikasi membran keramik dalam menyisihkan logam berat menggunakan membran keramik Nanofiltrasi berbahan montmorillonite, kaolin, tobermorite, magnetite, silica gel and alumina juga dilaporkan dapat menyisihkan logam berat Cd(II) hingga 97% [9]. Penambahan karbon aktif pada bahan pembuatan membran juga dilaporkan dapat meningkatkan nilai fluks dan mencegah terjadinya fouling pada membran [10]. Oleh karena itu pada penelitian ini akan dipelajari lebih lanjut mengenai pembuatan membran keramik fly ash-clay dengan menambahkan arang aktif kelapa sawit untuk menyisihkan logam berat timbal pada air limbah industry dengan memvariasikan komposisi bahan fly ash:clay:arang aktif serta suhu sintering yang digunakan.

II. METODOLOGI PENELITIAN

Membran keramik dengan variasi komposisi fly ash:clay:arang aktif 40%:45%:10% dan 45%:40%:10% dibuat dengan metode sintering pada suhu sintering: 500 °C, 550 °C, 600 °C, 650 °C, dan 700 °C. Membran dibuat berbentuk berbentuk turbular dan diaplikasikan untuk menyisihkan logam berat Pb. Aplikasi membran ini menggunakan modul skala laboratorium yang sudah dirancang dengan tekanan operasi 0,5 bar serta sistem aliran cross flow. Permeat yang dihasilkan dari proses filtrasi dianalisa persen rejeksi logam berat Pb. Membran yang menghasilkan persen rejeksi terbaik kemudian dianalisa struktur morfologi menggunakan SEM dan struktur Kristal menggunakan XRD

A. Material

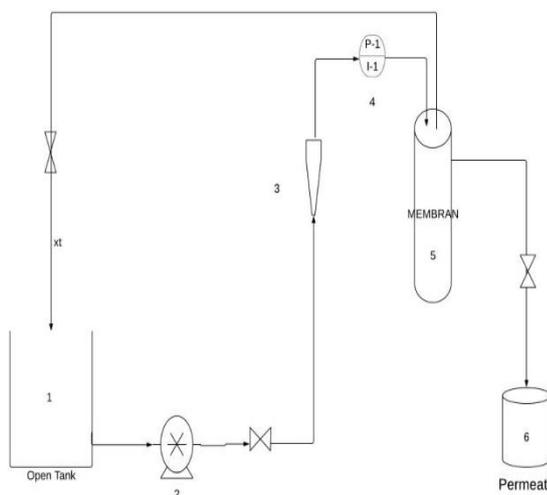
Fly ash dan clay dengan ukuran partikel 120 µm digunakan sebagai bahan utama pembuatan membrane. Fly ash yang digunakan berasal dari industry semen lokal. Sedangkan clay yang digunakan merupakan komersial clay yang dibeli dari PT. Rudang Jaya, Medan, Indonesia. Polyvinyl Alcohol (PVA) yang digunakan sebagai perekat (Sigma, Aldrich).

B. Pembuatan Membran FCA:

1. Fly ash, clay, arang aktif (FCA) diayak dengan ukuran 125/150 mesh
2. FCA ditimbang dengan komposisi yang telah ditentukan (total 900 gram)
3. Pindahkan kedalam wadah dan tambahkan sebanyak 700 ml aquades dan ditambahkan PVA 5% kedalamnya, sedikit demi sedikit sampai habis, disertai dengan pengadukan menggunakan *mixer* hingga terbentuk pasta.
4. Disiapkan pula plastic keras yang digunting mengikuti dinding cetakan membran sebagai rangka membran tubular.
5. Pencetakan membran dilakukan dengan menuangkan pasta FCA ke dalam cetakan.
6. Pindahkan ke dalam oven pada temperatur 29⁰C selama 3 x 24 jam (oven dalam posisi *turn off*).
7. membran dikeluarkan dari cetakannya, kemudian dilanjutkan dengan pemanasan pada suhu 500⁰C- 700⁰C selama 4 jam.

C. Proses Filtrasi menggunakan Membran Anorganik

1. Peralatan dirangkai sesuai konsep penelitian (Gambar 3)
2. Pengujian peralatan dilakukan dengan melewatkan air murni melewati membran untuk mengetahui kemungkinan kebocoran dan kerusakan peralatan sebelum diuji berdasarkan variabel penelitian.
3. Air limbah dialirkan melalui lubang pemasukan umpan menuju permukaan membrane



Keterangan:

- | | |
|-----------------|-------------------|
| 1. Tangki Umpan | 4. Pressure Gauge |
| 2. Pompa | 5. Modul Membran |
| 3. Flowmeter | 6. Tangki permeat |

Gambar 1. Rangkaian Peralatan Filtrasi

D. Karakterisasi Membran Keramik Mikrofiltrasi

Nilai porositas membran diukur menggunakan metode Archimedes:

$$\epsilon(\%) = \frac{W_3 - W_1}{W_3 - W_2} \tag{1}$$

Dimana W_1 merupakan berat kering membran, W_2 merupakan berat kering membran yang dihitung didalam air dan W_3 merupakan berat basah membran yang sudah direndam di dalam air selama 48 jam.

Membran dianalisa struktur dan ukuran porinya menggunakan *Scanning Electron Microscope* (SEM) (JEOL 6510 LA, Lab Pengujian PNL). Komposisi fase membran dianalisa using x-ray diffraction (XRD, Lab Pengujian, PNL).

Fluks air murni (J , L / m².hr) membran keramik FAC diuji dengan cara mengalirkan air murni (aquades) melewati modul membran menggunakan sistem aliran dead-end dan cross-flow dengan tekanan operasi 0.25, 0.5, 0.75, 1, 1.25 bar. Fluks dihitung berdasarkan persamaan (2):

$$J = \frac{V_p}{A_m \times t_f} \tag{2}$$

Dimana J adalah fluks akuades (L/m².h); V_p volume permeat (L); A_m luas permukaan membran (m²); t_f waktu filtrasi (hour).

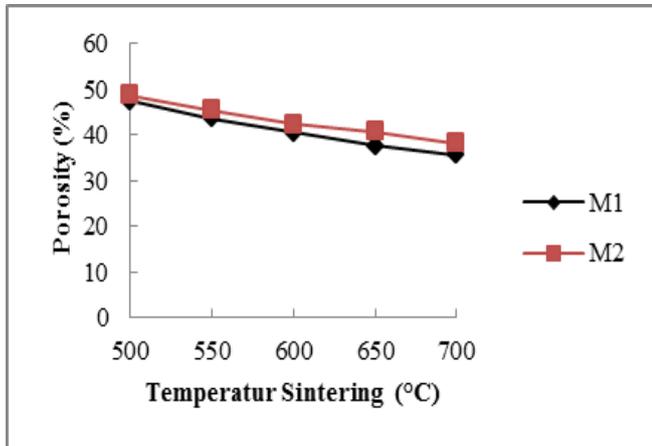
III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A Porositas dan Densitas Membran

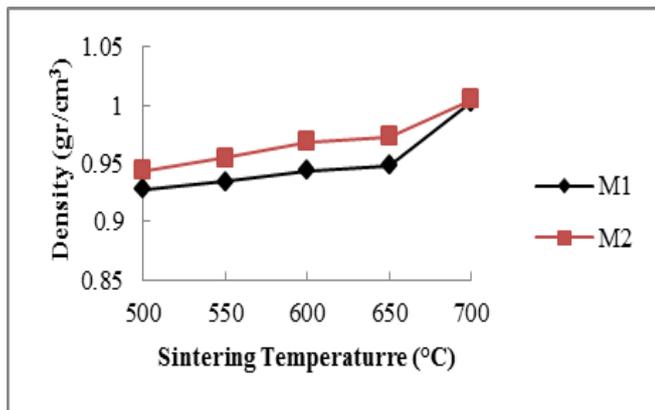
Komposisi bahan penyusun membran serta temperatur sintering mempengaruhi proses difusi partikel yang dapat dilihat dari nilai porositas dan densitas membran. Seperti yang terlihat pada Gambar IV.1 dimana porositas terbesar dimiliki oleh membran M2 sebesar 48,85% pada temperatur sintering 500°C. Hal ini disebabkan membran M2 (FCA=40%:45%:10%) memiliki komposisi clay yang lebih banyak dimana clay dapat meningkatkan jumlah pori dan rongga pada membran tersebut[2]. Nilai porositas pada membran M2 mengalami penurunan pada temperatur 700°C yaitu sebesar 38,13%. Peningkatan temperatur menyebabkan bidang kontak antar partikel-partikel menjadi lebih luas dan struktur porositas pun menjadi lebih halus sehingga menyebabkan ruang kosong untuk porositas juga semakin mengecil.

Dari gambar IV.1 juga diketahui nilai porositas terkecil dimiliki oleh membran M1 (FCA= 45%:40%:10%) yaitu sebesar 35,75 % pada temperatur sintering 700°C. Fly ash yang terkandung lebih banyak di dalam membran M1 memiliki ukuran partikel yang lebih kecil dibandingkan clay. Hal ini sangat mempengaruhi proses sintering dimana semakin banyak jumlah partikel berukuran kecil maka energi yang dimiliki untuk proses difusi lebih besar sehingga kepadatan partikel juga semakin besar [4]. Semakin besar kepadatan partikel mengakibatkan tingkat eliminasi porositas juga semakin tinggi. Porositas membran yang terbentuk juga mempengaruhi nilai densitas membran, dimana semakin kecil porositas membran maka densitas membran akan meningkat. Seperti yang disajikan pada Gambar IV.2 dimana nilai densitas terbesar dimiliki oleh membran M2 pada temperetur 700°C yaitu sebesar 1,0048 gr/cm³. Seperti yang sudah

dipaparkan diatas bahwa ukuran partikel fly ash yang lebih kecil dari ukuran partikel clay menyebabkan daya dorong partikel untuk berdifusi menjadi lebih tinggi sehingga semakin banyak partikel yang berinteraksi membentuk partikel yang lebih besar kepadatannya. Peningkatan temperatur sintering juga mempengaruhi proses pertumbuhan dan pepadatan partikel tersebut dimana semakin tinggi suhu sintering maka persen kepadatan partikel juga semakin besar sehingga nilai densitas juga semakin meningkat.



Gambar.2 Pengaruh Temperatur Sintering dan Komposisi Membran terhadap Porositas Membran M1 (FCA= 45%:40%:10%) dan Membran M2 (FCA= 40%:45%:10%)

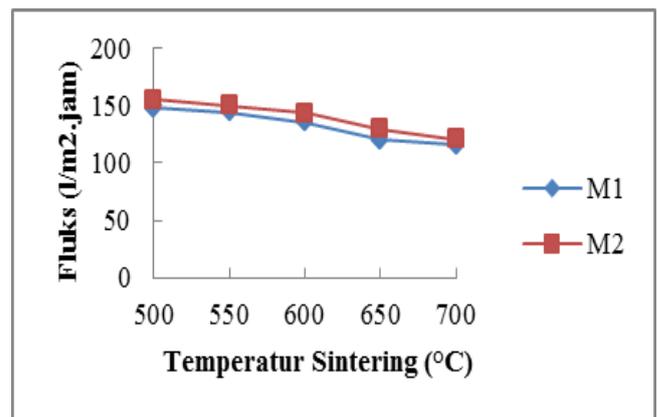


Gambar .3 Pengaruh Temperatur Sintering dan Komposisi Membran terhadap Densitas Membran M1 (FCA= 45%:40%:10%) dan Membran M2 (FCA= 40%:45%:10%)

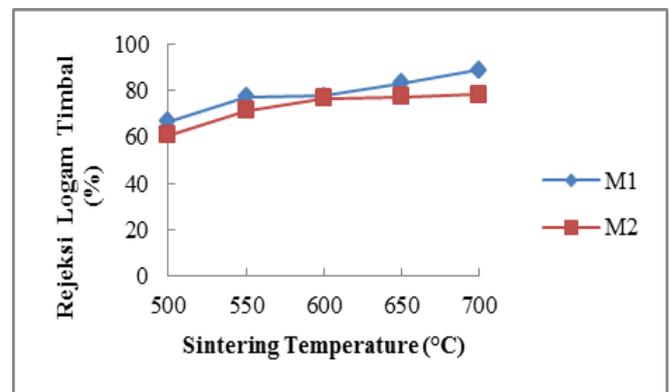
B. Fluks Membran Keramik FCA

Fluks membran keramik adalah suatu ukuran yang mengukur kecepatan jumlah volume permeal yang melewati membran keramik persatuan luas permukaan persatuan waktu dengan gradien tekanan sebagai gaya pendorong. Fluks membran menjadi salah satu faktor penentu karakteristik membran. Pada penelitian ini tekanan operasi untuk menentukan permeabilitas membran adalah 0,5 bar. Dari Gambar IV.3 diketahui nilai fluks tertinggi dimiliki oleh membran M2 yang disintering pada temperatur 500°C yaitu sebesar 155,657 l/m2.jam. Hal ini disebabkan karena pada membran M2 mengandung clay yang paling banyak. Clay dapat meningkatkan jumlah pori dan rongga untuk mendukung kinerja filtrasi sehingga banyak larutan air umpam yang dapat

masuk kepori-pori membran keramik dan melewati membran keramik. Ukuran partikel clay yang lebih besar dibandingkan fly ash juga mempengaruhi nilai permeabilitas membran, dimana ukuran partikel yang lebih besar menyebabkan daya dorong partikel untuk berdifusi menjadi terbatas sehingga persentase porositas menjadi lebih tinggi dan jumlah volume permeal yang melewati pori membran juga semakin tinggi [7]. Penurunan nilai fluks pada titik terendah dimiliki oleh membran M1 dengan temperature sintering 700°C yaitu sebesar 115,459 l/m2.jam. Membran M1 yang memiliki kandungan fly ash lebih banyak menyebabkan tingkat porositas membran menurun yang mengakibatkan ukuran pori juga mengecil. Peningkatan temperatur sintering menjadi 700°C juga mempengaruhi proses difusi antar partikel membran menjadi lebih luas dan pada akhirnya mempengaruhi struktur porositas membran yang semakin mengecil. Porositas membran yang rendah menyebabkan nilai fluks dan permeabilitas membran juga rendah.



Gambar.4 Pengaruh Temperatur Sintering dan Komposisi Membran terhadap Fluks Membran M1 (FCA= 45%:40%:10%) dan Membran M1 (FCA= 40%:45%:10%)



Gambar.5 Pengaruh Temperatur Sintering dan Komposisi Membran M1 (FCA= 45%:40%:10%) dan Membran M1 (FCA= 40%:45%:10%) terhadap Rejeksi Logam Berat Timbal

C. Aplikasi Membran Keramik FCA

Pada penelitian ini, membran keramik FCA M1 dan M2 diaplikasikan untuk menyisahkan logam berat Pb dari air limbah industri artificial yang dibuat dengan konsentrasi 2 mg/L. Sistem aliran filtrasi yang digunakan adalah aliran crossflow dengan tekanan operasi sebesar 0,5 bar. Dari gambar IV.4 diketahui membran M1 yang disintering pada

