

PROSES TERPADU MIKROFILTRASI MEMBRAN KERAMIK MENGUBAH AIR SUNGAI MENJADI AIR BERSIH

Yogi Astrada^{1*}, Eddy Ibrahim², Arie Putra Usman³

¹Program Studi Program Profesi Insinyur, Universitas Sriwijaya, Palembang

²Teknik Pertambangan, Universitas Sriwijaya, Palembang

³Teknik Sipil, Universitas Sriwijaya, Palembang

*Corresponding author e-mail: yogie.astrada@gmail.com

ABSTRAK: Ketersediaan air bersih merupakan tantangan global yang semakin mendesak, terutama di kawasan yang mengandalkan sumber air permukaan seperti sungai. Air sungai seringkali mengandung kontaminan fisik, kimia, dan biologi yang melebihi batas baku mutu. Penelitian ini bertujuan untuk menguji efektivitas sistem pengolahan air terpadu yang terdiri dari mikrofiltrasi adsorpsi membran keramik untuk mengubah air sungai menjadi air bersih yang aman dan ramah lingkungan. Proses ini dirancang untuk mengatasi masalah *fouling* pada membran dan meningkatkan efisiensi penghilangan polutan. Metode yang digunakan meliputi pembuatan membran keramik dari campuran tanah liat, karbon aktif tandan kosong kelapa sawit (C-aktif TKKS), dan serbuk besi, dilanjutkan dengan pengujian kinerja filtrasi menggunakan air sampel Sungai Kelekar, Prabumulih. Hasil penelitian menunjukkan bahwa proses terpadu mampu menurunkan konsentrasi parameter kualitas air secara signifikan. Konsentrasi akhir *Total Suspended Solid* (TSS) mencapai 0,23 mg/L dan *Total Coliform* menurun drastis dari 1500/100 mL menjadi 21/100 mL. Nilai ini telah memenuhi standar baku mutu lingkungan air bersih dan air minum. Dengan demikian, penerapan proses terpadu ini terbukti efektif dalam menghasilkan air bersih dengan kualitas yang memadai dan berpotensi menjadi solusi pengolahan air sungai yang berkelanjutan.

Kata Kunci: Pengolahan air, Mikrofiltrasi, Membran keramik, Adsorpsi, Sungai Kelekar

ABSTRACT: The availability of clean water poses a pressing global challenge, particularly in regions relying on surface water sources such as rivers, which are often contaminated with physical, chemical, and biological pollutants exceeding quality standards. This research aims to evaluate the efficacy of an integrated water treatment system—comprising microfiltration–adsorption–ceramic membrane—for transforming river water into safe and environmentally compliant clean water. This configuration was specifically designed to mitigate membrane fouling and enhance pollutant removal efficiency. The methodology involved the fabrication of ceramic membranes from a composite mixture of clay, palm empty fruit bunch (PEFB) activated carbon, and iron powder. The system's performance was subsequently tested using raw water samples from the Kelekar River, Prabumulih. The results demonstrate that the integrated process achieves significant reductions in water quality parameters. Final effluent concentrations show *Total Suspended Solid* (TSS) reduced to \$0.23 \text{ mg/L}\$ and *Total Coliform* dramatically decreased from 1500 /100 mL to 21 /100 mL. These values successfully meet the regulatory standards for clean and potable water quality. Consequently, the implementation of this integrated process is confirmed as an effective and potentially sustainable solution for river water treatment.

Keywords: Water Treatment, Microfiltration, Ceramic Membrane, Adsorption, Kelekar River

1 Pendahuluan

Krisis air bersih merupakan isu lingkungan dan sosial-ekonomi yang mendesak, terutama di negara berkembang seperti Indonesia. Ketergantungan pada air permukaan seperti sungai menjadi tantangan serius karena sumber air ini rentan terhadap pencemaran antropogenik (limbah domestik dan industri) dan alamiah (material tersuspensi dan mikroorganisme)

Permintaan akan air bersih terus meningkat seiring dengan pertumbuhan populasi dan aktivitas industri, sementara kualitas air baku, khususnya air sungai, cenderung menurun. Sungai Kelekar di Prabumulih, misalnya, merupakan salah satu sumber air baku yang kondisinya terpengaruh oleh berbagai sumber pencemaran. Oleh karena itu, diperlukan teknologi pengolahan air yang efektif, efisien, dan ramah lingkungan untuk menjamin ketersediaan air bersih maka dari itu salah satu teknologi filterisasi terpadu menjadi pilihan yang tepat.

1.1 Latar Belakang Masalah

Sungai Kelekar merupakan salah satu sumber air bersih di Kota Prabumulih yang kondisinya sangat memprihatinkan. Berada di kawasan perkotaan menyebabkan sungai ini rentan dicemari oleh limbah industri dan limbah rumah tangga, baik itu yang bersifat padat, cair, maupun (DITJEN Cipta Karya, 2016). Pada musim kemarau tinggi air permukaan dan debit air Sungai Kelekar sangat rendah, sedangkan pada musim hujan terjadi peningkatan debit air yang mengakibatkan banjir. Air Sungai Kelekar berwarna coklat keruh yang kecepatan arusnya termasuk kedalam kategori berarus sedang sampai berarus deras, bersuhu $26^{\circ}\text{C} - 30^{\circ}\text{C}$, dengan kandungan nitrat 0,97 mg/L (BML 0,5 mg/L), fosfat 0,64 mg/L (BML 0,2 mg/L) (Valta et al., 2017). Dari data Sungai Kelekar tersebut diketahui bahwa bahan pencemar yang terkandung di dalam air sungai sudah melebihi ambang batas Baku Mutu Lingkungan (BML) Peraturan Gubernur (PERGUB) Sumatera Selatan Nomor 16 Tahun 2005, sehingga perlu dilakukannya pengolahan air bersih terpadu agar Sungai Kelekar dapat dimanfaatkan sebagai sumber air bersih.

Proses pengolahan air PDAM Kota Prabumulih saat ini menggunakan sistem pengolahan air standar PDAM yang dikenal dengan nama sistem WTP (*Water Treatment Plant*). Proses ini terdiri dari lima tahapan yaitu koagulasi, flokulasi, sedimentasi, filtrasi dan desinfeksi. Umumnya

proses WTP ini menggunakan zat kimia berupa klorin, kaporit, dan tawas untuk menghilangkan mikroba yang ada pada air dan meningkatkan parameter kualitas air bersih agar sesuai dengan BML. Sumber air yang digunakan oleh PDAM Kota Prabumulih berasal dari Sungai Lematang

Permintaan akan air bersih terus meningkat seiring dengan pertumbuhan populasi dan aktivitas industri, sementara kualitas air baku, khususnya air sungai, cenderung menurun. Sungai Kelekar di Prabumulih, misalnya, merupakan salah satu sumber air baku yang kondisinya terpengaruh oleh berbagai sumber pencemaran. Oleh karena itu, diperlukan teknologi pengolahan air yang efektif, efisien, dan ramah lingkungan untuk menjamin ketersediaan air bersih.

1.2 Urgensi Teknologi Membran Keramik

Teknologi pengolahan konvensional (koagulasi-flokulasi-sedimentasi-filtrasi pasir) seringkali tidak efisien dalam menghilangkan kontaminan ukuran mikro dan mikroba patogen. Teknologi membran menawarkan solusi unggul karena kemampuannya memisahkan kontaminan berdasarkan ukuran pori secara fisik.

Teknologi membran telah diakui memiliki kinerja tinggi dalam pengolahan air. Di antara berbagai jenis membran, membran keramik (anorganik) menawarkan keunggulan berupa ketahanan kimia dan termal yang lebih baik dibandingkan membran polimer. Membran keramik, yang dibuat dari paduan logam dan non-logam, dapat digunakan untuk memisahkan campuran cair dan mengurangi kesadahan, menjadikannya sangat efisien untuk pengolahan air.

Membran keramik (anorganik) dipilih karena keunggulannya dibandingkan membran polimer, yaitu:

- (1) Stabilitas Termal dan Kimia Tinggi: Tahan terhadap suhu tinggi dan rentang pH yang luas, memungkinkannya dibersihkan menggunakan bahan kimia yang agresif tanpa merusak struktur.
- (2) Masa Pakai Lebih Panjang: Struktur yang kuat dan kaku memberikan ketahanan mekanis yang superior menghilangkan kontaminan biologi.

Namun, tantangan utama dalam operasi membran adalah *fouling* (penyumbatan) yang menyebabkan penurunan fluks permeat dan membatasi umur membran. Untuk mengatasi masalah ini, penelitian ini menerapkan proses terpadu yang menggabungkan perlakuan awal

(pretreatment) berupa mikrofiltrasi dan adsorpsi sebelum masuk ke tahap membran keramik. Kombinasi ini bertujuan untuk meningkatkan efisiensi pembuangan polutan, mengurangi risiko *fouling*, dan memperpanjang umur operasional membran.

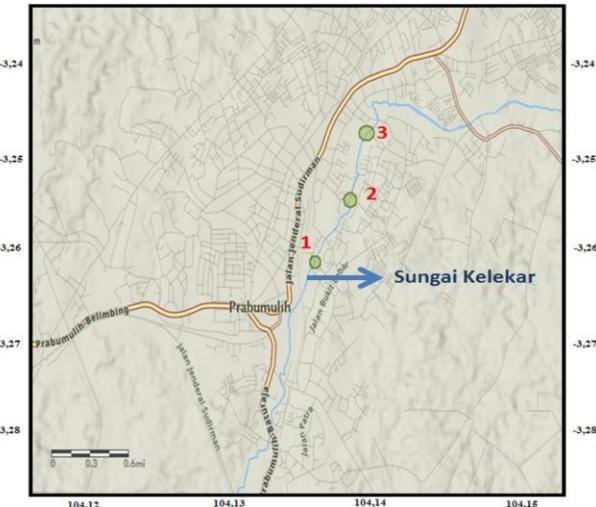
1.3 Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan merancang dan menguji efektivitas sistem Proses Terpadu Mikrofiltrasi–Adsorpsi–Membran Keramik sebagai upaya mitigasi fouling dan optimalisasi kualitas air hasil olahan sungai hingga memenuhi baku mutu air bersih dan air minum.

2 Tinjauan Pustaka

2.1 Sungai Kelekar

Sungai Kelekar yang terletak pada posisi $110^{\circ}18' BT$ sampai $112^{\circ}45' BT$ dan $6^{\circ}49' LS$ sampai $8^{\circ}08' LS$, merupakan salah satu sumber air bersih di Kota Prabumulih yang kondisinya sangat memprihatinkan. Berada di kawasan perkotaan menyebabkan sungai ini rentan dicemari oleh limbah industri dan limbah rumah tangga (DITJEN Cipta Karya, 2016). Sungai ini memiliki panjang 20 km dengan lebar permukaan sungai yaitu 3-7 m, dan dengan kedalaman sungai sekitar 2-6 m. Wilayah Sungai Kelekar di Kota Prabumulih terbagi menjadi 4 bagian aliran, meliputi Sungai Kelekar Hulu, Sungai Kelekar Tengah (Sukareja), Sungai Kelekar Tengah (Karang Raja), dan Sungai Kelekar Hilir (Sindur). DAS Sungai Kelekar meliputi DAS Nibung (15 km) dan DAS Rambai (10,25 km), DAS Bunut (3 km) di Kecamatan Prabumulih Timur, DAS Gambir (1,5 km), DAS Kubu di Kec. Prabumulih Utara, DAS Kubu Betung di Kec. Prabumulih Barat, DAS Muntang Tapus di Kec. Prabumulih Barat, DAS Tapus, dan DAS Jambat akar di Kec. Prabumulih Selatan.



Gambar 2.1. Aliran Sungai Kelekar Kota Prabumulih

2.2 Bahan dan Tempat Penelitian

Proses terpadu (disebut juga sistem hibrida) merupakan kombinasi dari dua atau lebih unit operasi dalam pengolahan air. Dalam konteks ini, mikrofiltrasi dan adsorpsi bertindak sebagai perlakuan awal (pretreatment) sebelum air mencapai membran keramik. Pretreatment ini sangat krusial untuk:

- (1) Menghilangkan sebagian besar padatan tersuspensi (mikrofiltrasi).
- (2) Menyerap zat organik, zat pewarna, dan ion logam (adsorpsi) yang berpotensi menjadi *foulant* kimia.

2.3 Bahan dan Tempat Penelitian

Pengembangan membran keramik yang ekonomis (low-cost) dilakukan dengan memanfaatkan bahan baku lokal yang melimpah. Membran yang digunakan dalam penelitian ini merupakan komposit berbahan dasar:

- (1) Tanah Liat: Sebagai bahan matriks utama yang menyediakan struktur dasar silika-alumina SiO_2 dan Al_2O_3
- (2) Karbon Aktif Tandan Kosong Kelapa Sawit (C-aktif TKKS): TKKS merupakan biomassa limbah yang melimpah dan memiliki kandungan selulosa tinggi. Setelah diaktivasi, C-aktif TKKS bertindak sebagai *porogen* (agen pembentuk pori) selama sintering dan sekaligus agen adsorpsi dalam

- struktur membran. Sifat adsorpsi ini membantu menghilangkan kontaminan organik.
- (3) Serbuk Besi (Fe): Berdasarkan studi relevan, penambahan serbuk besi (Fe) berperan ganda. Serbuk besi akan teroksidasi selama proses sintering. Secara mekanis, penambahan serbuk ini membantu pembentukan pori dan memperkuat struktur mekanik filter keramik, meningkatkan ketahanan membran terhadap tekanan operasional. Serbuk besi juga berpotensi meningkatkan kemampuan membran dalam menghilangkan ion-ion logam berat melalui mekanisme pertukaran ion atau adsorpsi.

Persiapan bahan penelitian di lakukan di kampus dengan membawa sumber bahan utama untuk di proses menjadi bahan dasar yang siap di gunakan selanjutnya pengujian dan penelitian juga di lakukan di Laboratorium kampus

3 Metodelogi

3.1 Bahan dan Tempat Penelitian

Penelitian dibuat berdasarkan penelitian pada tahun 2022 di Laboratorium Teknik Kimia Politeknik Sriwijaya. Air sampel diambil dari Sungai Kelekar, Kelurahan Karang Raja, Kecamatan Prabumulih Timur.

Bahan dasar pembuatan membran keramik terdiri dari tanah liat (87.5%), karbon aktif tandan kosong kelapa sawit (C-aktif TKKS) (10%), dan serbuk besi (2.5%).

3.2 Prosedur Pengolahan Air Terpadu

Proses pengolahan air terpadu ini dilakukan dalam beberapa tahapan filtrasi sebelum memasuki membran keramik:

- (1) Mikrofiltrasi Tahap Awal: Air sungai dialirkkan melalui filter *cartridge* dengan diameter pori 3 μm , diikuti dengan filter spon berdiameter pori 1 μm .



Gambar 3.1. Filter *cartridge* dengan diameter pori 3 μm , diikuti dengan filter spon berdiameter pori 1 μm .

- (2) Adsorpsi: Air kemudian dilewatkan ke *filter carbon block* (karbon aktif). Adsorpsi berfungsi menangkap ion-ion bebas di dalam air untuk meningkatkan pembuangan polutan



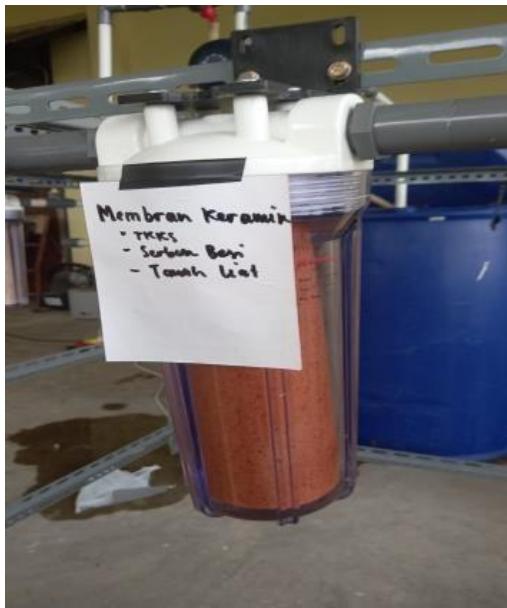
Gambar 3.2 .Filter ke *filter carbon block* (karbon aktif).

- (3) Filtrasi Lanjutan: Setelah itu, air melewati *Manganase Ferollite*.



Gambar 3.3. *Manganase Ferollite*.

- (4) Membran Keramik: Tahap akhir adalah penyaringan menggunakan membran keramik yang telah dibuat.



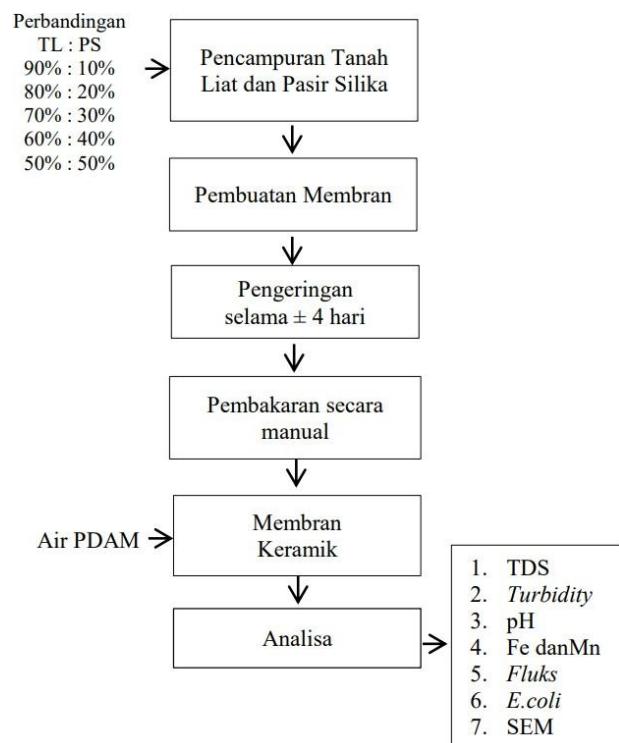
Gambar 3.4. Membran Keramik

Apabila digabungkan maka rangkaian alat pengolahan air terpadu seperti pada gambar 3.5



Gambar 3.5. Alat Pengolahan Air Terpadu

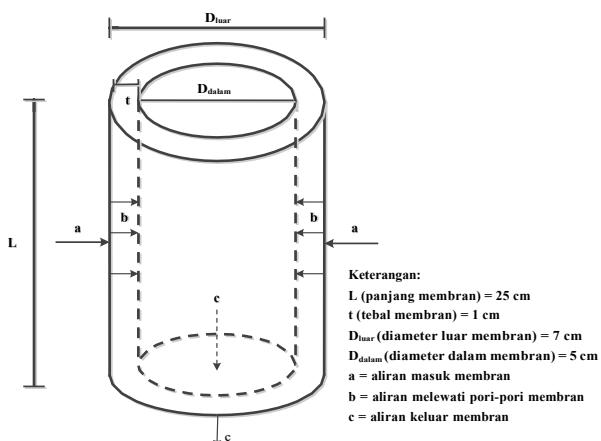
Prosedur pengolahan air terpadu dapat diilustrasikan pada gambar 2.1



Gambar 3.6. Diagram Alir Proses Pembuatan Membran Keramik

3.3 Tahap Pembuatan Membran Keramik (Sisnayati, 2018)

1. Bahan dasar pembuatan membran keramik yaitu tanah liat, karbon aktif tandan kosong kelapa sawit (C-aktif TKKS), dan serbuk besi dengan perbandingan masing-masing bahan yaitu 87.5% tanah liat : 10% C-aktif TKKS : 2.5% serbuk besi.
2. Pembuatan membran keramik dimulai dengan penjemuran tanah liat yang sudah diiris tipis-tipis dan dijemur selama 2 hari. Tanah liat yang sudah kering dihaluskan lalu diayak dengan ayakan ukuran 400 mesh. Demikian juga dengan serbuk besi yang juga diayak dengan ayakan ukuran 400 mesh. Kemudian tanah liat, C-aktif TKKS, dan serbuk besi dicampur sampai rata dengan perbandingan yang telah ditentukan sebelumnya, kemudian ditambahkan air sedikit demi sedikit ke dalam adonan bahan penyusun membran sampai berbentuk pasta (gel) sehingga mudah dicetak dengan sebuah alat pencetak membran keramik. Setelah dicetak, adonan dikeluarkan dari cetakan membran yang selanjutnya dikeringkan dengan temperatur kamar selama 7 hari. Kemudian membran dibakar (dilakukan sintering) pada temperatur 900 oC selama 9 jam



Gambar 3.7. Skema Membran Keramik.

3.4 Prosedur Pengolahan Air Terpadu

Kinerja sistem diukur berdasarkan pada beberapa prinsip berikut:

- (1) Fluks Permeat: Dihitung untuk mengevaluasi laju penurunan fluks akibat *fouling* dan efisiensi operasional.
- (2) Efisiensi Rejeksi (%R): Dihitung berdasarkan perbandingan konsentrasi polutan dalam air umpan dan air permeat untuk parameter TSS, COD, Fe, dan Total Coliform.
- (3) Kualitas Permeat: Diuji sesuai standar baku mutu air bersih (PERMENKES No. 492/2010).

4 Hasil Dan Pembahasan

4.1 Kinerja Membran dan Fluks Permeat

Analisis *Scanning Electron Microscopy* (SEM) menunjukkan bahwa struktur pori dan permukaan membran keramik yang dihasilkan tidak rata, menyerupai batuan karang (*sponge*). Hal ini terkait dengan proses pembentukan permukaan aktif membran.

Nilai fluks permeat membran menurun seiring waktu operasi. Fluks awal yang dihasilkan pada 5 menit pertama adalah sebesar $90,36 \times 10^2 \text{ L/m}^2\text{.Jam}$ dan menurun menjadi $26,25 \times 10^2 \text{ L/m}^2\text{.Jam}$ setelah 15 menit. Penurunan fluks ini adalah fenomena umum yang disebabkan oleh *fouling*, namun perlakuan awal (mikrofiltrasi dan adsorpsi) diharapkan meminimalisir laju penurunannya.

4.2 Efektivitas Penghilangan Polutan (Rejeksi)

Proses terpadu menunjukkan efisiensi rejeksi yang memuaskan untuk berbagai jenis kontaminan:

- (1) Total Suspended Solid (TSS): Konsentrasi TSS berhasil diturunkan menjadi 0,23 mg/L. Nilai ini hampir nol dan secara visual, air hasil olahan jernih. Hal ini mengonfirmasi bahwa unit mikrofiltrasi dan membran keramik bekerja secara sinergis dalam penghilangan partikel.
- (2) Total Coliform: Penurunan drastis dari 1500 jumlah/100 mL menjadi 21 jumlah/100 mL, mencapai efisiensi rejeksi sebesar 40%. Meskipun belum mencapai standar ideal air minum (0), penurunan ini sangat signifikan dan membuktikan bahwa pori membran keramik mampu menahan

majoritas mikroorganisme, ditambah dengan peran adsorpsi di pretreatment.

- (3) Besi (Fe): Penurunan mencapai 29,41% hingga konsentrasi akhir 0,12 mg/L, jauh di bawah batas maksimum air minum (0,3 mg/L). Keberhasilan ini tidak hanya disebabkan oleh Manganase Ferollite dan carbon block, tetapi juga peran serbuk besi dalam matriks membran yang meningkatkan adsorpsi logam.

4.3 Peningkatan Kualitas Air

Proses terpadu ini menunjukkan efektivitas yang tinggi dalam meningkatkan kualitas air Sungai Kelekar, dengan perolehan hasil akhir yang telah memenuhi Baku Mutu Lingkungan (BML) air bersih dan air minum.

Tabel 1. Kriteria Parameter Kualitas Air

Parameter Kualitas Air	Konsentrasi Awal (Umpam)	Konsentrasi Akhir (Permeat)	Baku Mutu Air Minum (PERMENKES No. 492/2010)	Persentase Rejeksi (%R)
Fisik				
Suhu (°C)	-	28	Maks. 3	-
TDS (mg/L)	-	12	Maks. 500	-
TSS (mg/L)	-	0.23	-	-
Kimia				
pH	-	6.1	6,5–8,5	-
COD (mg/L)	-	14.3	-	32.55
Besi (Fe) (mg/L)	-	0.12	Maks. 0,3	29.41
Amoniak (NH3-N) (mg/L)	-	0.1	Maks. 1,5	37.50
Biologi				
Total Coliform (jumlah/100 mL)	1500	21	Maks. 0	40

Hasil kunci meliputi:

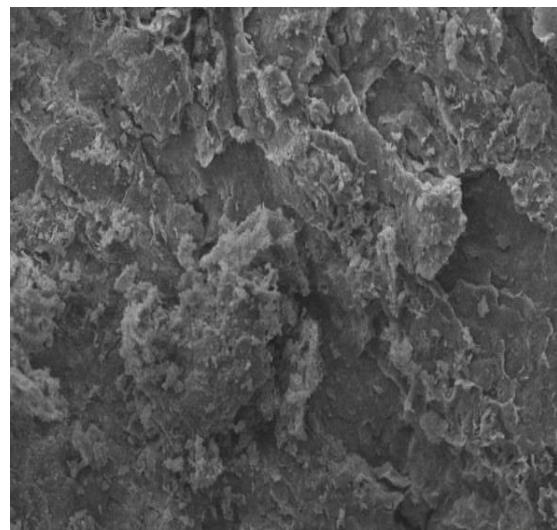
- (1) TSS: Nilai 0,23 mg/L menunjukkan air hasil olahan jernih, mengindikasikan bahwa proses filtrasi (terutama mikrofiltrasi dan membran keramik) bekerja optimal dalam menghilangkan partikel tersuspensi
- (2) Fe (Besi): Menurun hingga 0,12 mg/L, berada di bawah batas maksimum air minum (0,3 mg/L). Persentase rejeksi mencapai 29,41%.
- (3) Total Coliform: Terjadi penurunan yang sangat signifikan dari 1500 jumlah/100 mL menjadi 21 jumlah/100 mL, dengan nilai rejeksi 40%.

Penurunan ini menunjukkan efektivitas sistem terpadu dalam menghilangkan kontaminan biologi.

4.4 Hasil Scanning Electron Microscopy (SEM)

Sebelum digunakan untuk mengolah air Sungai Kelekar, citra SEM memberikan gambaran mengenai kondisi dasar membran komposit yang dirancang dari tanah liat, C-aktif TKKS, dan serbuk besi:

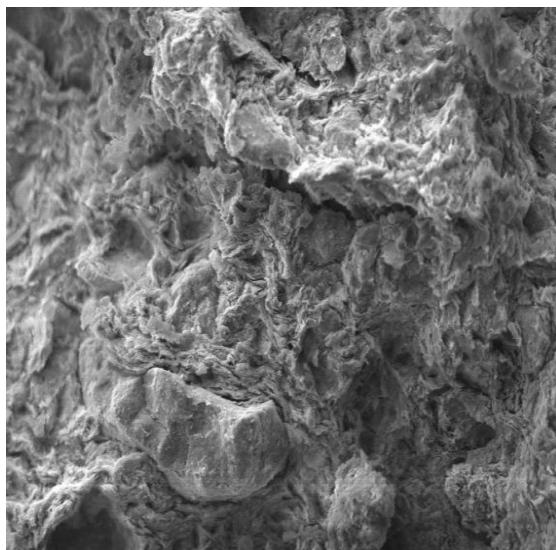
- (1) Struktur Permukaan dan Pori: Analisis SEM memperlihatkan bahwa struktur pori dan permukaan membran keramik tidak rata. Morfologinya digambarkan hampir menyerupai batuan karang (sponge).
- (2) Sifat Porous: Membran keramik pada kondisi awal bersifat porous (berpori), dengan pori-pori yang terbentuk dianggap cukup kecil untuk aplikasi mikrofiltrasi.
- (3) Asal Ketidakrataan: Struktur permukaan yang tidak merata dan asimetrik ini dipengaruhi oleh faktor-faktor pembuatan seperti suhu, jenis dan ukuran bahan penyusun, serta komposisi bahan itu sendiri. Sebagai contoh, jumlah aditif C-aktif TKKS memengaruhi kerapatan dan bentuk pori. Pori yang tidak homogen (asimetrik) ini menegaskan kesesuaian membran tersebut untuk aplikasi mikrofiltrasi.



Gambar 4.1. Citra SEM membran keramik sebelum pengolahan

Setelah membran digunakan dalam sistem terpadu untuk menyaring air sungai, terjadi perubahan morfologi permukaan yang mengindikasikan efektivitas proses penyaringan dan identifikasi fenomena fouling:

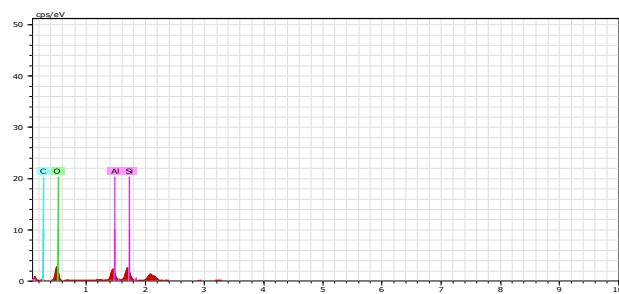
- (1) Perubahan Struktur: Struktur morfologi permukaan membran yang awalnya porous (berpori) mengalami perubahan menjadi nonporous (tidak berpori) setelah proses pengolahan air.
- (2) Fouling (Penyumbatan): Perubahan menjadi nonporous ini disebabkan oleh penyumbatan pada pori-pori membran oleh bahan pencemar yang tertahan. Fouling ini adalah hasil dari akumulasi bahan (foulant) di permukaan atau di pori-pori membran, yang menyebabkan lapisan padat terbentuk.
- (3) Bukti Fouling dari EDS: Fenomena penyumbatan ini dikonfirmasi dan diperkuat oleh hasil analisis Energy Disperse Spectroscopy (EDS). Analisis EDS menunjukkan adanya penambahan unsur yang terdeteksi pada membran setelah filtrasi (dari empat unsur menjadi tujuh unsur, termasuk Fe, Zn, dan Mn), yang membuktikan bahwa senyawa kontaminan dari air sungai telah terperangkap atau terserap di dinding atau pori membran.



Gambar 4.2. Citra SEM membran keramik sesudah pengolahan

4.5 Hasil Energy Disperse Spectroscopy (EDS)

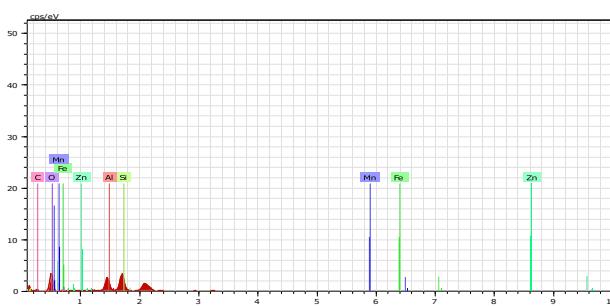
Hasil analisis Energy Disperse Spectroscopy (EDS) memperlihatkan bahwa ada beberapa unsur yang terdapat dalam membran keramik sebelum dilakukannya proses pengolahan air sungai menjadi air bersih, yaitu unsur karbon (C), oksigen (O), aluminium (Al) dan silika (Si). Keempat unsur tersebut berasal dari penambahan tanah liat dalam pembuatan membran keramik



Gambar 4.3. Grafik hasil unsur yang terdeteksi spektrum EDS pada membran keramik sebelum filtrasi

Setelah membran digunakan untuk mengolah air sungai, terjadi perubahan komposisi yang signifikan:

- (1) Penambahan Unsur: Ditemukan adanya penambahan tiga unsur lain, sehingga total unsur yang terdeteksi menjadi tujuh. Unsur tambahan tersebut adalah Besi (Fe), Seng (Zn), dan Mangan (Mn). Penambahan unsur ini menunjukkan bahwa senyawa kontaminan (logam) yang ada dalam air sungai telah terperangkap atau terserap di dalam pori-pori membran selama proses pengolahan. Ini adalah bukti langsung dari mekanisme penahanan polutan oleh membran.
- (2) Peningkatan Persentase Unsur: Dua unsur mengalami peningkatan persentase massa:
 - Oksigen (O): Meningkat dari 28.83% menjadi 43.82%
 - Silika (Si): Meningkat dari 9.27% menjadi 30.09%
- (3) Peningkatan Persentase Unsur: Dua unsur mengalami peningkatan persentase massa:
 - Karbon (C): Menurun dari 44.66% menjadi 9.72%
 - Aluminium (Al): Menurun dari 17.25% menjadi 15.53%



Gambar 4.4. Grafik hasil unsur yang terdeteksi spektrum EDS pada membran keramik sebelum filtrasi

5 Kesimpulan

Kesimpulan yang dapat diambil pada penelitian ini adalah sebagai berikut

- (1) Hasil analisis SEM dan EDS membran keramik menunjukkan bahwa struktur pori dan permukaan membran tidak rata, hampir menyerupai batuan karang (sponge) dan terjadi penambahan unsur yang terkandung dalam membran keramik yang awalnya berjumlah empat unsur menjadi tujuh unsur.
- (2) Proses terpadu mikrofiltrasi–adsorpsi–membran keramik yang ramah lingkungan terbukti efektif dalam mengolah air Sungai Kelekar Prabumulih menjadi air bersih yang memenuhi baku mutu lingkungan. Komposisi membran keramik dari tanah liat, C-aktif TKKS, dan serbuk besi dapat menghasilkan permeat dengan kualitas baik, ditandai dengan penurunan signifikan pada parameter TSS, Total Coliform, dan kadar logam berat (Fe).

Daftar Pustaka

- [1] **Yogi astrada.** (2022). Program Studi Pengelolaan Lingkungan, Program Studi Pascasarjana, Universitas Sriwijaya, *Tesis Pengolahan Air Sungai Kelekar Prabumulih Menjadi Air Bersih Melalui Proses Terpadu Mikrofiltrasi–Adsorpsi–Membran Keramik Yang Ramah Lingkungan*.
- [2] **Darmayanti, L., Putri, M., & Edward.** (2022). Membran Keramik Berbahan Dasar Tanah Liat dan Fly Ash untuk Penyisihan Warna dan Zat Organik pada Air Gambut. *Jurnal Rekayasa Sipil dan Lingkungan*, 6(1), 1-8. (DOI: periksa DOI asli jurnal)
- [3] **Slamet, S., dkk.** (2023). Karakterisasi Fisis Dan Unjuk Kerja Membran Keramik Berpori Untuk Aplikasi Teknologi Penjernih Air. *Momentum*, 19(2), 161–167.
- [4] **Musyaffa, M. H., Santosa, I., Prianto, N., & Fikri, A.** (2024). Analisis Kinerja Membran Mikrofiltrasi Terhadap Penurunan Angka *Coliform* di Instalasi Pengolahan Air Limbah. *Jurnal Kesehatan Lingkungan*, (Desember), 137-142. (DOI: periksa DOI asli jurnal)
- [5] **Salsabilah, S., Yuliani, R., Muhammin, M., Febriansyah, V., & Asfarina, S.** (2024). Pengembangan Alat Berbasis Membran Keramik Untuk Filtrasi Air Bersih Di Kota Bima. *SEWAGATI: Jurnal Pengabdian Kepada Masyarakat*, 3(2), 71–76.