



Pb²⁺ Absorption of Metal Ions Using an *Polyvinylidene Fluoride* (PVDF) - Al₂O₃ Membrane

Wardatul Bahiyah ✉, Malikhatul Hidayah, dan Krisna Yudha Syahputra

Jurusan Kimia, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Walisongo Semarang
Jalan Prof Dr. Hamka Kec. Ngaliyan, Kota Semarang, 50185, Indonesia

Info Artikel

Diterima : 25-07-2023

Disetujui : 18-08-2023

Dipublikasikan : 31-08-2023

Keywords:

Membran

PVDF

Al₂O₃

Logam Pb²⁺

Abstrak

Perkembangan industri di Indonesia yang semakin pesat dapat menyebabkan dampak buruk bagi lingkungan berupa pencemaran ion logam berat yang berasal dari limbah hasil industri yang tidak diolah secara sempurna. Salah satu jenis logam berat yang keberadaannya tidak dibutuhkan makhluk hidup dan mempunyai sifat toksisitas tinggi adalah logam timbal (Pb). Dampak peningkatan konsumsi ion Pb dapat menyebabkan keracunan dan gangguan pada saluran pencernaan. Membran PVDF (*Polyvinylidene Fluoride*) dibuat dengan penambahan Al₂O₃ untuk mengetahui pengaruh penambahan Al₂O₃ terhadap karakteristik dan kinerja membran dalam pengurangan ion logam Pb²⁺. Membran PVDF dan PVDF - Al₂O₃ dikarakterisasi meliputi: kuat tarik, sudut kontak, dan uji fluks rejeksi. Membran PVDF 20% memiliki kuat tarik terbaik dengan nilai 7,55 MPa dan penambahan Al₂O₃ meningkatkan nilai kuat tarik menjadi 7,85 MPa. Penambahan Al₂O₃ pada membran PVDF dapat meningkatkan sifat hidrofilitas membran dengan menurunkan nilai sudut kontak dari 106,0° menjadi 83,6°. Membran PVDF - Al₂O₃ mampu meningkatkan nilai fluks hingga 38,997 L/m².jam dan meningkatkan koefisien rejeksi hingga 97,44%. Nilai kadar ion logam Pb²⁺ berhasil diturunkan dari kadar 10 mg/L menjadi 0,225 mg/L.

Abstract

The rapid development of industry in a country can cause adverse effects on the environment in the form of heavy metal pollution from industrial waste that is not perfectly processed. One type of heavy metal whose existence is not needed by living things and has high toxicity is lead metal (Pb). The impact of increased consumption Pb can cause poisoning and disturbances in the digestive tract. PVDF (*Polyvinylidene Fluoride*) membrane was prepared with the addition of Al₂O₃ to determine the effect of Al₂O₃ addition on membrane characteristics and performance in the reduction of Pb²⁺ metal ions. PVDF and PVDF- Al₂O₃ membranes were characterized by tensile strength, contact angle, and rejection flux tests. The 20% PVDF membrane had the best tensile strength with value of 7.55 MPa and the addition of Al₂O₃ increased the tensile strength value to 7.85 MPa. The addition of Al₂O₃ to the PVDF membrane can improve the hydrophilicity properties membrane by reducing the contact angle value from 106.0° to 83.6°. PVDF- Al₂O₃ membrane was able to increase the flux value up to 38.997 L/m².h and increase rejection coefficient up to 94.53%. The value of Pb²⁺ metal ion content was successfully reduced from 10 mg/L to 0.225 mg/L.

Pendahuluan

Perkembangan industri di Indonesia yang semakin pesat menyebabkan dampak buruk bagi lingkungan, salah satunya pencemaran lingkungan yang meliputi tanah, udara, dan perairan akibat hasil pembuangan limbah dari industri-industri tersebut (Mulyani & Rija, 2018). Jenis pencemaran yang masuk ke dalam sungai salah satunya yaitu pencemaran ion logam berat yang berasal dari pembuangan limbah industri yang tidak diolah dengan sempurna (Komarawidjaja, 2017). Logam berat umumnya bersifat toksik, dapat mengendap di dasar perairan dan memiliki waktu tinggal hingga ribuan tahun. Salah satu jenis logam berat yang keberadaannya tidak dibutuhkan oleh makhluk hidup karena mempunyai sifat toksisitas tinggi adalah logam Pb (Permana & Andhikawati, 2022).

Timbal atau sering disebut timah hitam diambil dari nama latin *plumbum* (Pb) merupakan logam dengan warna abu-abu keperakan atau kebiru-biruan, memiliki titik didih pada 1740°C dan titik leleh pada $327,5^{\circ}\text{C}$ dan di atmosfer. Logam Pb memiliki 2 bilangan oksidasi yaitu Pb^{2+} dan Pb^{4+} . Bentuk bilangan oksidasi Pb^{2+} bersifat lebih stabil dan sering ditemukan dialam daripada bentuk bilangan oksidasi Pb^{4+} (Palupi *et al.*, 2020). Timbal (Pb) mempunyai efek akut pada manusia. Pada manusia dan hewan ternak, peningkatan konsumsi Pb akan terakumulasi dalam tubuh sehingga merusak seluruh sistem organ tubuh. Pada anak-anak, keracunan Pb dapat membuat IQ lebih rendah dan berakibat pada kemunduran mental yang sifatnya permanen. Dampak keracunan Pb dapat mengakibatkan hipertensi, gangguan neurologi (susunan syaraf), gangguan sintesis darah, gangguan fungsi ginjal, hiperaktivitas, dan kerusakan otak (Ardillah, 2016).

Cara untuk mengurangi pencemaran ion logam Pb dapat dilakukan dengan teknologi membran. Membran adalah media berpori dengan lapisan tipis yang memiliki dua fasa fluida yaitu fasa umpan (*feed*) dan fasa permeat sebagai penghalang terhadap spesi tertentu. Teknologi membran mempunyai banyak keunggulan dibandingkan metode pemisahan lainnya, yaitu proses pemisahannya dapat dilakukan berkelanjutan, material membran bervariasi, mudah digabungkan dengan pemisahan lainnya. Membran bersifat ramah lingkungan, penggunaannya tidak mengakibatkan dampak buruk dan membran yang dihasilkan dapat digunakan kembali. Membran berfungsi sebagai penyaring yang sangat spesifik, namun penggunaan membran juga mempunyai kelemahan yaitu terjadinya *fouling* dan jangka waktu pemakaian yang terbatas, sehingga harus ditambahkan bahan pengisi untuk meningkatkan kinerja membran. (Elma, 2017).

Polyvinylide Fluoride (PVDF) merupakan polimer yang umum digunakan untuk membran. PVDF tidak larut dalam air (hidrofobik), tahan terhadap asam, dan salah satu senyawa kimia yang bersifat *inert*. PVDF banyak diaplikasikan pada teknologi membran karena memiliki beberapa keunggulan, antara lain memiliki ketahanan kimia yang baik dan sifat mekanik yang tinggi. *Polyvinylide Fluoride* (PVDF) termasuk kategori polimer *semicrystalline* dengan rumus molekul $(\text{C}_2\text{H}_2\text{F}_2)_n$ atau $(\text{CH}_2\text{-CF}_2)_n$. Membran PVDF dimanfaatkan pada berbagai proses pemisahan seperti nanofiltrasi, ultrafiltrasi, mikrofiltrasi dan destilasi membran (Suhartono *et al.*, 2017). *Polyvinylide Fluoride* (PVDF) memiliki sifat yang lebih unggul sebagai polimer seperti memiliki kestabilan termal dari atom F dengan sifat elektronegativitas yang tinggi dan ikatan C-F memiliki energi disosiasi tinggi. Pengaplikasian membran PVDF dapat digunakan untuk pengolahan air (Sholikah *et al.*, 2017).

N,N-Dimetilasetamida (DMAc) digunakan untuk melarutkan polimer PVDF. DMAc memiliki rumus kimia $\text{CH}_3\text{C}(\text{O})\text{N}(\text{CH}_3)_2$. DMAc memiliki sifat fisik tidak berwarna, larut dalam air, dan digunakan sebagai pelarut polar karena titik didihnya tinggi. DMAc bersifat higroskopis sehingga harus disimpan dalam ruang inert. DMAc merupakan pelarut organik yang tidak mudah menguap, pelarut ini dapat menimbulkan iritasi pada mata dan kulit karena sifatnya yang beracun. DMAc mempunyai titik didih 166°C , titik leleh -20°C , massa jenis $0,94 \text{ gr/cm}^3$ dan dapat digunakan untuk melarutkan polimer PVDF (Riani, 2014).

Aluminium Oksida (Al_2O_3) merupakan partikel yang bersifat hidrofilik dan termasuk bahan membran dengan permeabilitas air yang tinggi. Penggunaan Al_2O_3 ditambahkan pada polimer membran PVDF karena mampu meningkatkan permeabilitas, stabilitas termal, ketahanan terhadap *fouling*, dan sifat mekanik, serta memberikan fungsi baru seperti degradasi kontaminan. Al_2O_3 memiliki dua sifat yaitu sifat ikatan hidrofilik dan kovalen (Hidayah *et al.*, 2023).

Penelitian terkait dilakukan oleh Suryandari (2019) tentang sintesis membran komposit PVDF-zeolit untuk menghilangkan metilen biru. Larutan membran dibuat dengan mencampurkan polimer PVDF 20% (b/v) yang dilarutkan dalam DMAc, sedangkan membran dimodifikasi dengan zeolit. Hasil yang diperoleh menunjukkan tingkat rejeksi optimum kedua membran pada pH 5 dan tekanan 1 bar yaitu membran PVDF-zeolit memiliki nilai rejeksi sebesar 82,65% dan fluks sebesar $19,197 \text{ L/m}^2\cdot\text{jam}$, sedangkan membran PVDF memiliki nilai koefisien rejeksi 76,45% dan fluks sebesar $8,921 \text{ L/m}^2\cdot\text{jam}$. Penelitian lain dilakukan oleh Hidayah *et al.*, (2023) tentang sintesis membran poliamida 18% dengan penambahan Al_2O_3 5%, 10%, dan 15% untuk memfiltrasi ion Pb^{2+} . Hasil yang diperoleh menunjukkan semakin banyak penambahan Al_2O_3

akan meningkatkan sifat hidrofilitas membran dan menjadikan kinerja membran semakin baik. Penambahan Al_2O_3 15% mampu meningkatkan nilai fluks sebesar 41,886 L/m².jam dan menurunkan konsentrasi ion Pb^{2+} dari konsentrasi awal 10 mg/L menjadi 0,02 mg/L dengan persen rejeksi hingga 99,8%.

Tujuan penelitian ini untuk mengetahui karakteristik dari membran PVDF dan PVDF- Al_2O_3 . Penambahan Al_2O_3 diharapkan mampu menurunkan sifat hidrofobik dari PVDF menjadi lebih hidrofilik. meningkatkan struktur pori membran, meningkatkan permeabilitas dan selektivitas pada membran sehingga mampu meningkatkan kinerjanya dalam pengurangan kadar ion logam Pb^{2+} .

Metode

Alat

Alat-alat yang digunakan pada penelitian ini adalah gelas beaker 50 mL (*Pyrex*), gelas ukur 50 mL (*Pyrex*), batang pengaduk (*Pyrex*), pipet volume 10 mL (*Pyrex*), pipet tetes, spatula, labu ukur 100 mL dan 1000 mL (*Pyrex*), ayakan 200 mesh, neraca analitik (*KERN*), *magnetic bar*, *magnetic stirrer* (*Thermo Scientific Cimarec*), bak koagulasi, plat kaca 15 x 20 cm, lakban hitam, *aluminium foil*, satu set alat uji filtrasi *cross-flow* di Laboratorium Riset UIN Walisongo Semarang, alat uji kuat tarik (*Brookfield CT 3 4500*) di Laboratorium Terpadu Universitas Diponegoro, alat uji sudut kontak (*OCA 25*) di Laboratorium Terpadu Universitas Diponegoro, dan *Atomic Absorption Spektrofotometer* (AAS) (*Thermo Scientific iCE 3000 AA05194702*) di Laboratorium Riset UIN Walisongo Semarang.

Bahan

Bahan-bahan yang diperlukan pada penelitian ini yaitu *Polyvinylidene Flouride* (PVDF), *Dimethylacetamide* (DMAc) *for synthesis* Merck, serbuk $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ Merck, Aluminium oksida (Al_2O_3), aseton, dan Aquades.

Pembuatan Sampel

Pembuatan membran dilakukan menggunakan metode *phase inversion*. Pembuatan membran PVDF diawali dengan membuat larutan yang berisi campuran polimer PVDF dan pelarut DMAc. Membran divariasi dengan 5 komposisi PVDF yang berbeda yaitu 16%, 18%, 20%, 22%, dan 24% (b/v) yang dilarutkan dalam 10 mL DMAc. Larutan kemudian diaduk menggunakan *magnetic stirrer* selama 24 jam hingga campuran homogen dan terbentuk gel. Selanjutnya membran dicetak pada plat kaca yang sebelumnya sudah dibersihkan dengan aseton, kemudian diratakan dengan batang pengaduk dan dibiarkan selama 30 menit. Kemudian membran dimasukkan ke dalam bak koagulasi berisi aquades dan ditunggu hingga membran memisah dari cetakannya, selanjutnya membran yang sudah terbentuk diangkat dan ditiriskan ± 24 jam hingga membran mengering, selanjutnya dilakukan uji karakterisasi kuat tarik untuk menentukan komposisi PVDF yang mempunyai sifat mekanik terbaik. Pembuatan membran PVDF- Al_2O_3 diawali dengan menyiapkan berat PVDF dengan konsentrasi terbaik, kemudian ditambahkan Al_2O_3 dengan konsentrasi 5%, 10%, dan 15% (b/b), langkah pembuatan membran PVDF- Al_2O_3 sama dengan pembuatan membran PVDF (Suryandari, 2019).

Uji Kuat Tarik

Karakterisasi uji kuat tarik membran PVDF dan PVDF- Al_2O_3 dilakukan dengan alat *Universal Testing Machine* dengan tujuan untuk mengetahui sifat mekanik membran. Sampel membran dipotong dengan ukuran 2,5 x 0,5 cm kemudian kedua ujungnya dijepit dengan alat uji tarik dan ditarik hingga membran terputus. Data yang diperoleh meliputi *strain* (regangan) dan *stress* (tegangan) pada kondisi minimal dan maksimal (Suryandari, 2019).

Uji Sudut Kontak

Karakterisasi sudut kontak pada membran PVDF dan PVDF- Al_2O_3 dilakukan dengan memotong membran ukuran 2 x 2 cm kemudian ditetaskan air dan diambil gambar menggunakan alat sudut kontak (*OCA 25*) yang dilakukan di Laboratorium Terpadu Universitas Diponegoro. Hasil pengujian berupa data besaran sudut dari setiap masing-masing sampel yang menunjukkan sifat hidrofobik atau hidrofilik (Arahman *et al.*, 2016).

Uji Kinerja Membran

Membran PVDF dan PVDF- Al_2O_3 dipotong sesuai ukuran diameter sel filtrasi membran dan kertas saring yaitu diameter 42 mm, selanjutnya kertas saring dan membran dimasukkan kedalam alat filtrasi, kemudian dimasukkan sampel ion logam Pb^{2+} pada tempat yang terdapat dalam alat filtrasi dan ditutup

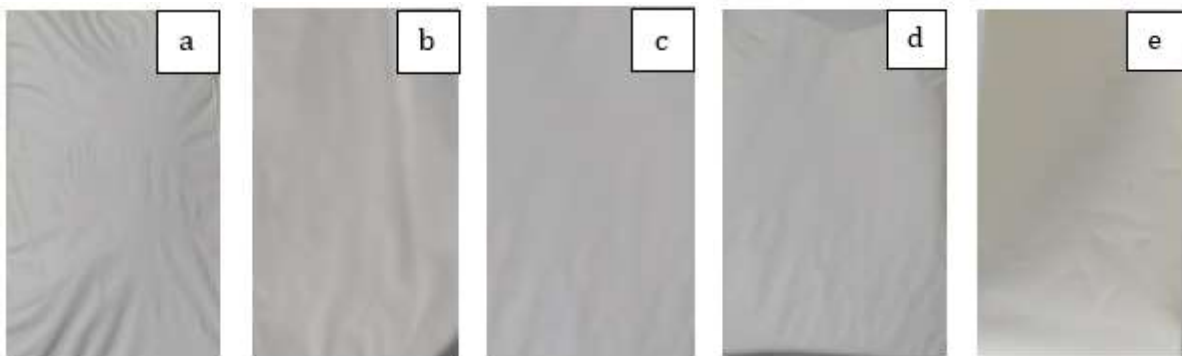
rapat. Membran diberi tekanan sampai larutan dapat menembus membran. Nilai fluks didapatkan dengan mengukur volume larutan yang melewatinya, Nilai rejeksi didapatkan dengan mengukur konsentrasi sampel sebelum dan sesudah melewati membran (Elma, 2017).

Pengukuran Kadar Ion Logam Pb^{2+}

Sejumlah 0,16 gram $Pb(NO_3)_2$ dilarutkan dalam sedikit aquades, kemudian dimasukkan ke labu ukur 100 ml lalu ditambahkan aquades hingga tanda batas dan dikocok hingga homogen sehingga didapatkan larutan Pb^{2+} 1000 ppm. Selanjutnya dipipet 10 mL larutan Pb^{2+} 1000 ppm dan dimasukkan ke dalam labu ukur 1000 mL, kemudian ditambahkan aquades hingga tanda batas dan dihomogenkan sehingga didapatkan konsentrasi larutan sebesar 10 ppm (Andriani *et al.*, 2022). Larutan standar Pb^{2+} 10 ppm dipipet sebanyak 2,5 mL, 5 mL, 10 mL, 20 mL, dan 40 mL dimasukkan ke dalam labu ukur 100 mL, kemudian ditambahkan aquades sampai tanda batas dan dihomogenkan sehingga diperoleh larutan standar Pb^{2+} konsentrasi 0,25; 0,50; 1,00; 2,00; dan 4,00 mg/L, kemudian dianalisis absorbansinya menggunakan *Atomic Absorption Spektrofotometer* (AAS). Hasil yang diperoleh dibuat kurva kalibrasi absorbansi dan konsentrasi sehingga didapatkan persamaan garis lurus $y = ax + b$. Larutan Pb^{2+} sebelum dan sesudah filtrasi dianalisis menggunakan *Atomic Absorption Spektrofotometer* pada bilangan gelombang 283,3 nm. Dihitung absorbansi yang diperoleh menggunakan persamaan garis lurus $y = ax + b$ sehingga didapatkan konsentrasi ion logam Pb^{2+} (Standar Nasional Indonesia, 2019).

Hasil dan Pembahasan

Pembuatan membran PVDF menghasilkan membran PVDF dengan konsentrasi 16% memiliki tekstur yang terlihat banyak kerutan dan gelembung. Membran PVDF 18% terlihat memiliki kerutan dan gelembung lebih sedikit daripada PVDF 16%. Membran PVDF 20% dan PVDF 22% terlihat tingkat kerutan dan gelembung semakin berkurang dibandingkan konsentrasi sebelumnya. Membran PVDF 24% jika dilihat merupakan konsentrasi terbaik karena memiliki tingkat kerutan yang semakin berkurang, dan gelembung semakin menghilang dibandingkan konsentrasi membran lainnya. Semakin besar konsentrasi membran maka tekstur membran yang dihasilkan juga semakin baik, tetapi tidak dapat dikatakan bahwa membran terbaik hanya dilihat berdasarkan aspek tekstur membran saja (Husni *et al.*, 2018). Untuk membuktikan konsentrasi membran terbaik dilakukan uji mekanik membran yaitu dengan uji kuat tarik. Hasil pembuatan membran PVDF ditunjukkan pada **Gambar 1**.



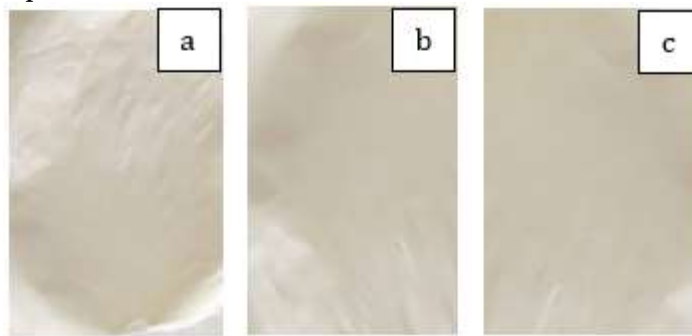
Gambar 1. Membran a) PVDF 16%, b) PVDF 18%, c) PVDF 20%, d) PVDF 22%, e) PVDF 24%

Analisis sifat mekanik yang meliputi pengujian kuat tarik membran PVDF dan PVDF- Al_2O_3 dilakukan dengan menyiapkan sampel membran yang dipotong ukuran 2,5 x 0,5 cm, kemudian diuji dengan alat kuat tarik (*Brookfield CT 3 4500*). Hasil kuat tarik menunjukkan nilai kuat tarik terbaik terdapat pada membran PVDF 20% dengan nilai 7,55 MPa dan elongasi sebesar 1,205%. Hasil yang didapatkan sesuai dengan material PVDF yang digunakan termasuk type resin sintesis dan plastik dengan nilai *tensile strength* berkisar 7,395 – 8,250 (Allplastics, n.d.). Membran PVDF 20% tidak mudah terputus saat dilakukan uji kuat tarik karena memiliki persebaran partikel yang merata. Apabila nilai kuat tarik semakin kecil maka akan menurunkan kekuatan mekanik pada membran, sedangkan apabila nilai kuat tarik semakin besar maka membran semakin kuat dalam menahan kerusakan mekanik (Husni *et al.*, 2018). Hasil uji kuat tarik membran PVDF dapat dilihat pada **Tabel 1**.

Tabel 1. Hasil uji kuat tarik membran PVDF

| Membran PVDF (b/v) | Kuat tarik (MPa) | Elongasi (%) | Modulus Young (MPa) |
|-----------------------|---------------------|-----------------|------------------------|
| 16% | 4,91 | 0,13 | 37,76 |
| 18% | 3,58 | 0,40 | 8,95 |
| 20% | 7,55 | 1,205 | 6,26 |
| 22% | 6,27 | 0,033 | 190,00 |
| 24% | 6,50 | 0,033 | 196,90 |

Pada membran PVDF- Al_2O_3 memiliki warna yang lebih putih pekat dibandingkan membran PVDF. Terjadinya perubahan warna karena adanya campuran Al_2O_3 ke dalam membran PVDF. Tujuan penambahan Al_2O_3 untuk mengurangi hidrofobilitas membran PVDF, sehingga memudahkan air melewati membran dan jumlah permeat yang dihasilkan semakin banyak. Langkah selanjutnya dilakukan uji kuat tarik, FTIR, sudut kontak, dan uji filtrasi untuk mengetahui sifat membran. Hasil pembuatan membran PVDF- Al_2O_3 ditunjukkan pada **Gambar 2**.

**Gambar 2.** Membran a) PVDF- Al_2O_3 5%, b) PVDF- Al_2O_3 10%, c) PVDF- Al_2O_3 15%

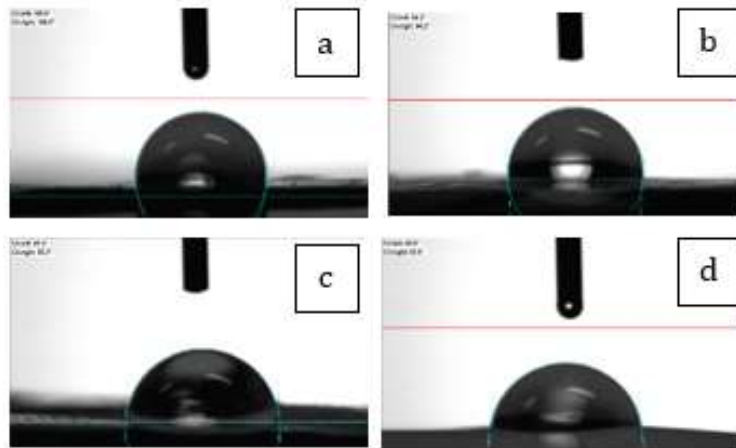
Hasil pengujian kuat tarik membran PVDF- Al_2O_3 menunjukkan bahwa membran PVDF- Al_2O_3 15% memiliki nilai kuat tarik paling besar karena semakin rapat pori membran menghasilkan daya tarik antar atom yang semakin besar sehingga meningkatkan nilai kuat tariknya. Apabila nilai kuat tarik semakin besar maka membran semakin kuat saat diberi tekanan (Simaremare *et al.*, 2020). Penambahan Al_2O_3 menyebabkan nilai elastisitas membran semakin rendah karena rantai polimer tidak dapat mengikat senyawa organik sehingga terjadi penurunan gaya intermolekul yang membuat membran menjadi keras (Ayuni *et al.*, 2014). Hasil uji kuat tarik membran PVDF- Al_2O_3 ditunjukkan pada **Tabel 2**.

Tabel 2. Kuat tarik membran PVDF- Al_2O_3

| PVDF- Al_2O_3 | Kuat Tarik (MPa) | Elongasi (%) | Modulus Young (MPa) |
|-------------------------------|---------------------|-----------------|------------------------|
| 5% | 2,77 | 0,184 | 15,05 |
| 10% | 4,04 | 0,128 | 31,56 |
| 15% | 7,85 | 0,068 | 115,44 |

Pengukuran sudut kontak

Uji sudut kontak merupakan karakterisasi yang bertujuan untuk menentukan sifat hidrofilik atau hidrofobik dari suatu membran dengan cara mengukur tingkat kebasahan suatu membran saat berinteraksi dengan air. Sudut kontak merupakan sudut yang terbentuk antara bidang permukaan membran dan bidang droplet air. Pengujian sudut kontak dilakukan dengan menyiapkan membran PVDF dan PVDF- Al_2O_3 yang dipotong ukuran 2 x 2 cm kemudian di uji dengan alat *Optical Contact Angele (OCA 25)*. Hasil uji sudut kontak membran ditunjukkan pada **Gambar 3**.



Gambar 3. Sudut Kontak a) PVDF, b) PVDF-Al₂O₃ 5%, c) PVDF-Al₂O₃ 10%, d) PVDF-Al₂O₃ 15%

Berdasarkan Gambar 3, dapat dilihat bahwa penambahan Al₂O₃ berpengaruh pada sifat hidrofilitasnya. Hal ini dibuktikan dengan penurunan derajat pada membran yang semakin lama semakin menurun. Hasil analisis sudut kontak membran PVDF dan PVDF-Al₂O₃ yang lebih jelas ditunjukkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Hasil uji sudut kontak membran

| Membran | Sudut Kontak (°) |
|---|------------------|
| PVDF | 106 |
| PVDF-Al ₂ O ₃ 5% | 94,2 |
| PVDF-Al ₂ O ₃ 10% | 87,2 |
| PVDF-Al ₂ O ₃ 15% | 83,6 |

Berdasarkan Tabel 3, penurunan derajat sudut kontak seiring dengan bertambahnya konsentrasi Al₂O₃ pada membran. Hasil sudut kontak membran PVDF mempunyai nilai terbesar yaitu 106° yang artinya membran PVDF bersifat hidrofobik, sedangkan membran PVDF dengan penambahan Al₂O₃ meningkatkan sifat hidrofilik membran yang dibuktikan dengan menurunnya nilai sudut kontak pada membran PVDF-Al₂O₃ 5%, 10%, dan 15% yaitu masing-masing sebesar 94,2°, 87,2°, dan 83,6°. Hal ini sesuai dengan teori yaitu membran bersifat hidrofobik jika memiliki tingkat keterbasahan rendah yang dilihat dari nilai sudut kontak lebih dari 90°, sedangkan membran bersifat hidrofilik jika memiliki tingkat keterbasahan tinggi yang dilihat dari nilai sudut kontak kurang dari 90° (Suryandari, 2019). Membran yang bersifat hidrofilik membutuhkan tekanan yang kecil untuk membuat air meresap ke dalam permukaan membran, sehingga akan berpengaruh terhadap fluks air yang dihasilkan saat proses filtrasi membran.

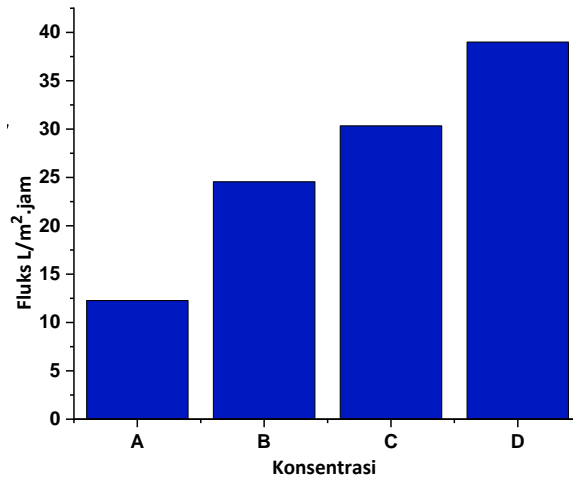
Uji kinerja membran

Kinerja membran dapat diketahui dengan melakukan uji fluks dan rejeksi pada membran. Pengujian fluks atau permeabilitas bertujuan untuk mengetahui jumlah volume permeat yang mampu melewati luas permukaan suatu membran dalam waktu tertentu. Uji fluks pada penelitian ini dilakukan secara *cross flow filtration* dengan waktu 30 menit. Tabel 4 menunjukkan hasil perhitungan fluks dari membran PVDF dan PVDF- Al₂O₃.

Tabel 4. Hasil fluks membran PVDF dan PVDF- Al₂O₃

| Membran | Volume permeat (L) | Luas permukaan (m ²) | Waktu (Jam) | Fluks (L/m ² .jam) |
|---|--------------------|----------------------------------|-------------|-------------------------------|
| PVDF | 0,0085 | 0,0013847 | 0,5 | 12,277 |
| PVDF-Al ₂ O ₃ 5% | 0,017 | 0,0013847 | 0,5 | 24,554 |
| PVDF-Al ₂ O ₃ 10% | 0,021 | 0,0013847 | 0,5 | 30,331 |
| PVDF-Al ₂ O ₃ 15% | 0,027 | 0,0013847 | 0,5 | 38,997 |

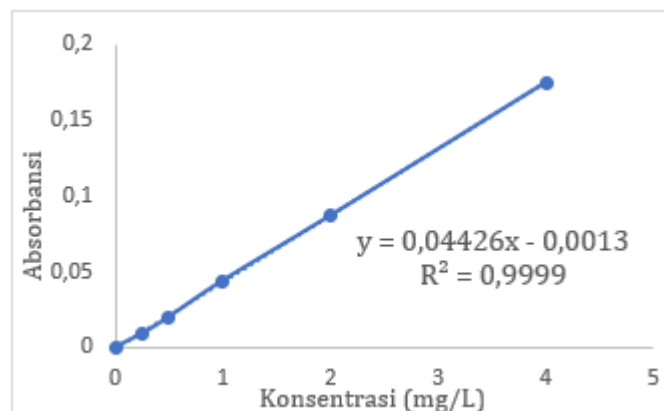
Berdasarkan Tabel 4, diketahui bahwa dengan penambahan Al_2O_3 berpengaruh terhadap nilai fluks. Semakin banyak penambahan Al_2O_3 pada membran, maka semakin tinggi juga nilai fluksnya. Membran PVDF- Al_2O_3 menunjukkan hasil nilai fluks yang lebih tinggi daripada nilai fluks pada membran PVDF murni. Hal ini dikarenakan Al_2O_3 dapat meningkatkan sifat hidrofilitas pada membran, sehingga pori-pori membran juga semakin besar. Peningkatan nilai fluks berpengaruh pada sedikitnya *fouling* pada membran saat filtrasi. Semakin tinggi nilai fluks membran maka volume permeat yang dapat menembus membran semakin banyak. Berdasarkan data yang diperoleh, menunjukkan membran PVDF dan PVDF- Al_2O_3 tergolong dalam membran ultrafiltrasi dengan nilai fluks pada kisaran 10 - 50 $\text{L}/\text{m}^2\cdot\text{jam}$ (Elma, 2017). Pengaruh antara konsentrasi dan nilai fluks membran ditunjukkan pada **Gambar 4**



Gambar 4. Hasil Fluks Membran a) PVDF, b) PVDF- Al_2O_3 5%, c) PVDF- Al_2O_3 10%, d) PVDF- Al_2O_3 15%

Pengukuran Kadar Ion Logam Pb^{2+}

Pembuatan larutan standar Pb^{2+} dibuat dari larutan induk $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ dengan variasi larutan Pb^{2+} sebesar 0,25 mg/L; 0,50 mg/L; 1,00 mg/L; 2,00 mg/L; dan 4,00 mg/L didapatkan kurva kalibrasi larutan standar dengan persamaan $y = 0,04426x - 0,0013$ dan nilai R^2 sebesar 0,9999. Jika nilai korelasi mendekati 1, maka hasil dari larutan standar telah memenuhi syarat sehingga dapat digunakan sebagai acuan penentuan konsentrasi Pb^{2+} yang akan dianalisis. Larutan standar ini kemudian digunakan untuk menganalisis kadar ion Pb^{2+} menggunakan *Atomic Absorption Spektrofotometer*. Hasil kurva kalibrasi larutan standar Pb ditunjukkan pada **Gambar 5**.



Gambar 5. Kurva kalibrasi larutan standar

Sampel limbah *artificial* $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ sebanyak 1000 mL dibuat dengan konsentrasi 10 mg/L dan dilakukan uji filtrasi menggunakan membran PVDF dan PVDF- Al_2O_3 untuk mengetahui kinerja membran dalam mengurangi kadar ion logam Pb^{2+} pada limbah tersebut. Proses filtrasi limbah $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ dilakukan dengan mengalirkan limbah melewati membran yang sudah dipotong sesuai ukuran alat filtrasi menggunakan metode *cross flow*. Hasil limbah yang berhasil melewati membran ditampung pada gelas kimia, kemudian

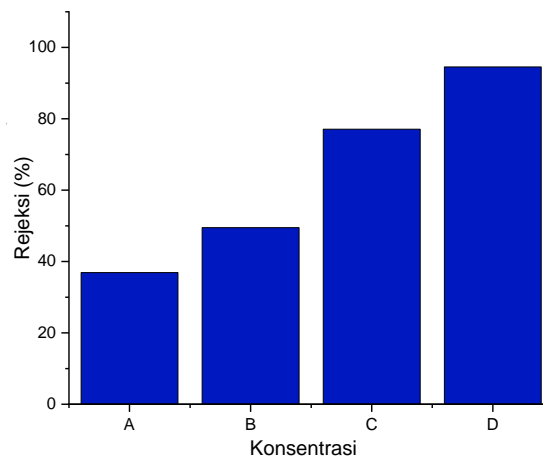
dilakukan uji AAS untuk mengetahui konsentrasi akhir limbah tersebut. Hasil konsentrasi awal dan konsentrasi akhir limbah $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ selanjutnya digunakan untuk menghitung persen rejeksi.

Pengujian rejeksi atau selektivitas dilakukan untuk mengetahui kinerja membran. Nilai rejeksi membran dapat diukur dengan melakukan proses filtrasi. Perhitungan rejeksi dapat dilihat dari konsentrasi sebelum filtrasi dan konsentrasi setelah filtrasi. Hasil perhitungan rejeksi pada masing-masing membran terhadap ion Pb^{2+} dapat dilihat pada **Tabel 5**.

Tabel 5. Hasil Persen Rejeksi Membran

| Membran | Konsentrasi awal (mg/L) | Konsentrasi akhir (mg/L) | Rejeksi (%) |
|-----------------------------------|----------------------------|-----------------------------|----------------|
| PVDF | 10 | 2,9439 | 70,56 |
| PVDF- Al_2O_3 5% | 10 | 2,3565 | 76,43 |
| PVDF- Al_2O_3 10% | 10 | 1,0686 | 89,31 |
| PVDF- Al_2O_3 15% | 10 | 0,2553 | 97,44 |

Berdasarkan Tabel 5, adanya penambahan Al_2O_3 dapat meningkatkan rejeksi pada membran PVDF. Hal ini dikarenakan Al_2O_3 menyebabkan pori-pori membran semakin besar dan meningkatkan sifat hidrofilitas membran, sehingga semakin banyak ion logam Pb^{2+} yang tertahan dan menutupi pori membran yang menyebabkan koefisien rejeksi membran semakin tinggi (Yuni *et al.*, 2015). Semakin besar nilai persen rejeksi maka kemampuan membran untuk mengurangi ion logam Pb^{2+} semakin baik. Membran PVDF- Al_2O_3 15% mampu meningkatkan persen rejeksi membran hingga 97,44%. Hal ini sesuai dengan sifat mekanik membran yaitu membran PVDF- Al_2O_3 15% memiliki sifat mekanik terbaik, dimana sifat mekanik yang baik akan menghasilkan kinerja membran yang tinggi. Pengaruh konsentrasi membran dan persen rejeksi ion logam Pb^{2+} dapat dilihat pada **Gambar 6**.



Gambar 6. Hasil Rejeksi Membran a) PVDF, b) PVDF- Al_2O_3 5%, c) PVDF- Al_2O_3 10%, d) PVDF- Al_2O_3 15%

Simpulan

Berdasarkan penelitian ini, diperoleh kesimpulan bahwa membran PVDF dan PVDF- Al_2O_3 telah berhasil disintesis. Membran PVDF terbaik yaitu pada konsentrasi 20% yang mempunyai karakteristik kuat tarik dengan nilai sebesar 7,55 MPa dan setelah penambahan Al_2O_3 15% mampu meningkatkan nilai kuat tarik menjadi 7,85 MPa. Penambahan Al_2O_3 konsentrasi 15% pada membran PVDF dapat menurunkan sudut kontak dari 106° menjadi $83,6^\circ$ sehingga membran semakin hidrofilik. Hasil yang diperoleh menunjukkan membran PVDF dengan penambahan Al_2O_3 terbukti berhasil menurunkan kadar ion logam Pb^{2+} dari konsentrasi awal 10 mg/L menjadi 0,2553 mg/L dengan persen rejeksi 97,44 % dan nilai fluks sebesar 38,997 L/m².jam. Hasil tersebut belum memenuhi batas maksimum air limbah yang dapat dibuang ke lingkungan yaitu sebesar 0,1 mg/, namun membran PVDF dan PVDF- Al_2O_3 terbukti berhasil menurunkan kadar Ion Pb^{2+} .

Daftar Referensi

- Allplastics. (n.d.). *PVDF (Polyvinylidene fluoride) Material Properties Data Sheet*. diakses 01 Juni 2023. <https://www.allplastics.com.au/engineering-plastics/pvdf>
- Andriani, T., Agustin, F., Chadijah, S., Adawiah, S. R., & Nur, A. (2022). Analisa Logam Berat Kadmium (Cd) dan Timbal (Pb) pada Kerang Hijau (*Perna viridis*) yang Beredar di Pelelangan Ikan Paotere Kota Makassar. *Chimica et Natura Acta*, 10(3), 112–116. <https://doi.org/10.24198/cna.v10.n3.42296>
- Arahman, N., Arifin, B., & Razi, F. (2016). *Profil Permeabilitas Berdasarkan Struktur Morfologi Membran Polietersulfon pada Pemekatan Larutan Tokoferol*. 36(4).
- Ardillah, Y. (2016). Faktor risiko kandungan timbal di dalam darah. *Jurnal Ilmu Kesehatan Masyarakat*, 7(3), 150–155.
- Ayuni, N. P. S., Siswanta, D., & Suratman, A. (2014). Sintesis dan Karakterisasi Membran Kompleks Polielektrolit (PEC) Kitosan-Pektin. *Jurnal Wahana Matematika Dan Sains*, 8(April), 88–96.
- Elma, M. (2017). *Proses Pemisahan Menggunakan Teknologi Membran*. Banjarmasin: Lambung Mangkurat University Press.
- Hidayah, M., Mujiburohman, M., & Hidayati, N. (2023). Synthesis of Polyamide-Al₂O₃ Nanocomposite Membranes Using the Nanofiltration Phase. *Atlantis Press International*, 611–627. <https://doi.org/10.2991/978-94-6463-134-0>
- Husni, D., Abd Rahim, E., & Ruslan. (2018). Pembuatan Membran Selulosa Asetat Dari Selulosa Pelepah Pohon Pisang. *Kovalen*, 4(1), 41–52.
- Komarawidjaja, W. (2017). Paparan Limbah Cair Industri Mengandung Logam Berat pada Lahan Sawah di Desa Jelegong, Kecamatan Rancaekek, Kabupaten Bandung. *Jurnal Teknologi Lingkungan*, 18(2), 173. <https://doi.org/10.29122/jtl.v18i2.2047>
- Mulyani, A., & Rija, M. (2018). Industrialisasi, Pencemaran Lingkungan dan Perubahan Struktur Kesehatan Masyarakat Ahmad. *Jurnal Biology Science and Education*, 7(2), 178–186.
- Palupi, E. S., Sulistyarti, H., Abdjan, M. I., & Putra, C. A. R. (2020). Studi Aktivitas Dition sebagai Pengompleks Ion Pb²⁺ Menggunakan Metode Spektrofotometri UV-Vis dan Semi Empiris AM1. *Jurnal Muara Sains, Teknologi, Kedokteran Dan Ilmu Kesehatan*, 4(2), 423. <https://doi.org/10.24912/jmstkk.v4i2.8647>
- Permana, R., & Andhikawati, A. (2022). Metallotionein pada Tanaman Akuatik dan Peranannya dalam Akumulasi Logam Berat. *Jurnal Akuatek*, 3(1), 1–8.
- Riani, P. (2014). Preparasi dan Karakterisasi Membran Polisulfon Dengan Pengisi Mikrobentonit Sebagai Penyaring Air Gambut. *Jurnal Pembangunan Wilayah & Kota*, 1(3), 82–91.
- Sholikah, R. I., Setyarsih, W., Istiqomah, Hefdea, A., Wulanchayani, E., & Rochmawati, L. (2017). *Stabilitas Termal dan Kristalinitas Komposit Polyvinylidene Fluoride (PVDF)/SiO₂ Pasir Vulkanik Kelud*. 5(2), 42–46.
- Simaremare, B., Pinem, J. A., & Daud, S. (2020). Sintesis dan Karakteristik Membran Komposit Kitosan-Silika Untuk Pengolahan Limbah Cair Hotel: Variasi komposisi Kitosan-Silika. *Jurnal Online Mahasiswa*, 7, 1–10.
- Standar Nasional Indonesia. (2019). Cara uji kadar logam terlarut dan logam total secara Spektrometri Serapan Atom (SSA) - nyala. *SNI 6989-84:2019*, 1–26.
- Suhartono, J., Putra, M. T. R., D, A. N., Pertiwi, D. S., & Noersalim, C. (2017). Penyisihan Logam Fe Menggunakan Membran Polyvinylidene Fluoride / Carbon Nanotube (PVDF / CNT). *Seminar Nasional Itenas*, 27–34.
- Suryandari, E. T. (2019). Sintesis Membran Komposit PVDF-Zeolit untuk Penghilangan Metilen Biru. *Al-Kimiya*, 6(2), 58–66. <https://doi.org/10.15575/ak.v6i2.6491>
- Yuni, U., Istirokhatun, T., & Susanto, H. (2015). Pengaruh penambahan nano-ZnO dan nano-Al₂O₃ sebagai agen anti bakteri dalam pembuatan membran selulosa asetat-kitosan terhadap biofouling yang disebabkan oleh bakteri gram negatif. *Jurnal Teknik Lingkungan*, 4(4), 1–11.