

STABILITAS POLYMER INCLUSION MEMBRANE DARI POLIMER PENDUKUNG PVC DAN EKSTRAKTAN D2EHPA DALAM ASAM KLORIDA

Katarina Modhe¹, Sherlly M. F. Ledoh¹, Titus Lapailaka¹, Luther Kadang¹, Johnson N. Naat², Redi K. Pingak³, Origenes B. Kapitan⁴, Fidelis Nitti^{1*}

1. Program Studi Kimia, Fakultas Sains dan Teknik, Universitas Nusa Cendana, Jl. Adisucipto Penfui, Kupang, Nusa Tenggara Timur 85001, Indonesia
2. Program Studi Pendidikan Kimia, Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan, Universitas Nusa Cendana, Jl. Adisucipto Penfui, Kupang, Nusa Tenggara Timur 85001, Indonesia
3. Program Studi Fisika, Fakultas Sains dan Teknik, Universitas Nusa Cendana, Jl. Adisucipto Penfui, Kupang, Nusa Tenggara Timur 85001, Indonesia
4. Politeknik Pertanian Negeri Kupang, Jl. Prof. Dr. Herman Yohanes, Lasiana, Kec. Kelapa Lima, Kota Kupang, Nusa Tenggara Timur 85001, Indonesia

*E-mail: fnitti@staf.undana.ac.id

Abstrak

Polymer Inclusion Membrane (PIM) merupakan generasi terbaru membran cair yang dirancang khusus untuk pemisahan berbagai jenis komponen kimia organik dan anorganik. Stabilitas PIM menjadi faktor kunci untuk memastikan efektivitasnya dalam proses pemisahan yang berkelanjutan. Penelitian ini bertujuan untuk menginvestigasi kestabilan PIM yang terbuat dari 60% PVC sebagai polimer pendukung dan 40% D2EHPA sebagai ekstrak dalam larutan uji asam klorida (HCl) 2,5 M. Hasil penelitian PIM dengan komposisi ini menunjukkan karakteristik fisiknya yang ideal seperti tipis, transparan, fleksibel dengan permukaan yang tidak berminyak. Hasil uji stabilitas berturut-turut menunjukkan penurunan berat PIM yang dibiarkan pada udara terbuka, dalam air, dan dalam 2,5 M HCl selama 7 hari sebesar 0,92%, 10,15% dan 4,30%. Trend ini secara umum menunjukkan bahwa PIM dengan komposisi 60% PVC dan 40% D2EHPA memiliki kestabilan yang lebih baik di dalam larutan yang bersifat asam dibandingkan dengan larutan yang bersifat netral. Perbandingan karakteristik spektra FTIR PIM sebelum dan setelah uji stabilitas menunjukkan PIM yang direndam di dalam air mengalami kehilangan sebagian besar ekstrak D2EHPA selama proses uji stabilitas. Perbedaan karakteristik spektra FTIR PIM sebelum dan setelah uji stabilitas dengan direndam di dalam air ini juga terkonfirmasi melalui perbedaan karakteristik fisika PIM sebelum dan sesudah uji stabilitas yang meliputi water contact angle, water uptake, tensile strength dan % elongation. Secara keseluruhan, hasil penelitian ini mengindikasikan bahwa PIM yang dibuat dengan komposisi PVC 60% dan D2EHPA 40% disarankan untuk digunakan dalam pemisahan pada kondisi asam untuk mempertahankan stabilitas dan efisiensi pemisahannya.

Kata kunci: *Polymer inclusion membrane; uji stabilitas; PVC; D2EHPA*

Abstract

[The Stability of Polymer Inclusion Membrane Composed of PVC as Base Polymer and D2EHPA as Extractant in Hydrochloric Acid Condition] Polymer Inclusion Membrane (PIM) represents the latest generation of liquid membranes specifically designed for the separation of various types of organic and inorganic chemical components. The stability of PIM is a key factor in ensuring its effectiveness in continuous separation processes. This study aims to investigate the stability of PIM composed of 60% PVC as the base polymer and 40% D2EHPA as the extractant in a 2.5 M HCl. The results indicated that PIMs with this composition demonstrate ideal physical characteristics such as thinness, transparency, flexibility, and non-oily surface. Sequential stability tests revealed weight decreases of 0.92%, 10.15%, and 4.30% for PIM exposed to open air, water, and 2.5 M HCl for 7 days, respectively. This trend generally suggests that PIM with a composition of 60% PVC and 40% D2EHPA exhibits better stability in acidic solutions compared to neutral solutions. A comparison of FTIR spectra characteristics of PIM before and after stability testing indicates that PIM immersed in water experiences significant loss of D2EHPA during the stability testing process. The differences in FTIR spectra characteristics of PIM before and after stability testing when

immersed in water are further confirmed by differences in physical characteristics of PIM before and after stability testing, including water contact angle, water uptake, tensile strength, and % elongation. Overall, the findings of this study suggest that PIM fabricated with a composition of 60% PVC and 40% D2EHPA is recommended for use in separation under acidic conditions to maintain stability and separation efficiency.

Keywords: *Polymer inclusion membrane; stability study; PVC; D2EHPA*

PENDAHULUAN

Penelitian mengenai membran sebagai alternatif terhadap teknik pemisahan konvensional seperti ekstraksi pelarut mengalami perkembangan yang sangat pesat. Hal ini karena pemisahan berbasis membran memiliki banyak keunggulan yang tidak dimiliki oleh metode pemisahan menggunakan ekstraksi pelarut, diantaranya penggunaan energi yang lebih kecil, proses yang lebih sederhana, dan biaya yang lebih murah [1]. Selain itu, pemisahan berbasis membran melibatkan penggunaan pelarut organik dalam jumlah kecil sehingga limbah yang dihasilkan dalam proses pemisahan serta dampaknya pada manusia dan lingkungan sekitar dapat diminimalisir [2].

Terdapat beberapa jenis membran berdasarkan struktur dan prinsip pemisahan, salah satunya yaitu *Polymer Inclusion Membrane* (PIM). PIM merupakan jenis membran cair generasi terbaru yang lebih stabil dibandingkan dengan membran cair generasi sebelumnya karena dibuat dengan cara memerangkapkan fase cair pada rantai polimer pendukung membran [3]. Hal ini dilakukan dengan mencampurkan polimer pendukung, *plasticizer* dan ekstraktan pada suatu pelarut yang cocok sebelum membrannya dicetak [4]. Jenis membran ini telah berhasil digunakan pada skala laboratorium untuk pemisahan berbagai jenis analit seperti Cd(II) [5], Fe(III) [6], Zn(II) [7], Lu(III) [8], As(V) [9], Pt(IV), Pd(II), dan Rh(III) [10] dan Cr(VI) [11,12]. Selain aplikasinya pada pemisahan, PIM juga telah berhasil digunakan dalam berbagai aplikasi lain seperti sensor optik dan *passive sampling* berbagai jenis komponen kimia organik dan anorganik [13,14,15].

Keunggulan utama yang dimiliki oleh PIM dibandingkan membran cair lain khususnya *Supported Liquid Membrane* (SLM) yaitu stabilitasnya yang lebih tinggi, ekstraktan yang digunakan lebih hemat dan tidak mudah terlepas ke larutan selama proses pemisahan serta pelarut berbahaya yang digunakan lebih

sedikit [16,17,18]. Selain itu, karena stabilitasnya yang baik, PIM telah terbukti dapat digunakan secara berulang dalam beberapa siklus pemisahan sehingga lebih efektif dari segi ekonomi [2]. PIM dapat dibuat dengan teknik yang sangat sederhana yang dikenal dengan nama *solvent casting*. Teknik ini diawali dengan melarutkan semua komponen PIM dengan suatu pelarut yang cocok hingga semua komponen larut secara sempurna. Campuran yang sudah larut, dicetak pada sebuah cetakan seperti *glass ring* atau *pertridish* atau cetakan lain yang sesuai dan pelarut yang digunakan dibiarkan menguap pada suhu kamar selama kurang lebih 24 – 48 jam [19]. PIM yang ideal memiliki kriteria berupa membran yang tipis, transparan, fleksibel, dan memiliki permukaan yang tidak berminyak [20].

Secara umum PIM terdiri dari beberapa komponen utama yaitu polimer pendukung, senyawa pengekstrak (ekstraktan), dan senyawa pemplastis (*plasticizer*) [3]. Ketiga komponen ini memiliki peran yang sangat penting dalam proses pembuatan PIM. Polimer pendukung berfungsi untuk menahan fase cair dan memberikan kekuatan mekanis pada PIM. Dalam beberapa penelitian, polimer pendukung yang sering digunakan dalam pembuatan membran yaitu selulosa triasetat (CTA) dan polivinil klorida (PVC) [21]. Namun, CTA dapat mengalami dekomposisi ketika digunakan dalam larutan asam dan basa kuat sedangkan PVC memiliki sifat yang tahan terhadap suasana asam, basa, garam, lemak, dan alkohol [22]. Selain polimer pendukung, ekstraktan juga merupakan salah satu komponen utama pada PIM yang bisa berupa agen pengkompleks atau penukar ion (kation dan anion) yang berfungsi untuk mengikat ion target melalui pembentukan senyawa kompleks atau pasangan ion [23]. Ekstraktan memiliki sifat yang tidak mudah menguap sehingga tidak dibutuhkan dalam jumlah yang banyak. Sebagian ekstraktan juga diketahui memiliki sifat pemplastis sehingga dalam beberapa penelitian tidak diperlukan *plasticizer*

tambahan [4]. Terdapat beberapa jenis ekstraktan yang juga memiliki sifat sebagai *plasticizer*, salah satunya yaitu asam di-(2-etilheksil) fosfat (D2EHFA) yang merupakan penukar kation [8]. Selain memiliki sifat pemlastis, D2EHFA memiliki kelebihan lain diantaranya memiliki pengaruh yang kuat pada stabilitas membran dan mampu meningkatkan stabilitas penggunaan kembali dibandingkan dengan membran yang menggunakan kandungan ekstraktan yang berbeda karena memiliki sifat yang lebih hidrofobik pada membran.

PIM yang dibuat dengan polimer pendukung PVC dan ekstraktan D2EHFA telah banyak dikembangkan dan diaplikasikan pada pemisahan berbagai jenis analit diantaranya Cu(II), Zn(II) dan Mg(II) [24,25]. Pemisahan-pemisahan kation tersebut umumnya dilakukan dalam kondisi asam karena mekanisme pemisahan menggunakan ekstraktan D2EHFA berupa pembentukan kompleks dan pertukaran kation. Walaupun telah banyak diaplikasikan dalam pemisahan, hasil penelusuran literatur menunjukkan bahwa belum ditemukan penelitian yang secara khusus mengkaji kestabilan PIM dalam kondisi asam dan mengkaji sifat fisika-kimia dari PIM yang terbuat dari PVC dan D2EHFA setelah digunakan secara berulang dalam kondisi asam.

Berdasarkan uraian latar belakang di atas, penelitian ini akan menginvestigasi stabilitas *Polymer Inclusion Membrane* (PIM) yang terbuat dari polimer pendukung PVC dan ekstraktan D2EHFA dalam suasana asam. Penelitian ini diawali dengan pembuatan dan karakterisasi PIM yang terdiri dari PVC dan D2EHFA untuk mendapatkan PIM yang memenuhi kriteria terbentuknya lapisan tipis, transparan, fleksibel, dan stabil. Sifat fisika PIM yang dikarakterisasi meliputi *water contact angle*, *tensile strength*, *% elongation*, dan *water uptake*. Selain itu PIM juga dikarakterisasi menggunakan *Fourier Transform Infra Red* (FTIR) dan *Scanning Electron Microscopy* (SEM). Setelah itu dilakukan uji stabilitas dan dilanjutkan karakterisasi sifat fisika dan kimia PIM setelah uji stabilitas.

METODE

Penelitian ini melibatkan beberapa tahapan utama yaitu (1) pembuatan PIM, (2) uji stabilitas PIM, (3) penentuan sifat fisika PIM

dan karakterisasi PIM menggunakan *Fourier Transform Infra Red Spectroscopy* (FTIR, Nicolet Avatar 360 IR) dan *Scanning Electron Microscopy* (SEM, TM-3000). Secara khusus, untuk penentuan sifat fisika PIM dan karakterisasi PIM menggunakan FTIR dan SEM dilakukan untuk PIM sebelum dan sesudah uji stabilitas. Ini dilakukan untuk melihat perbandingan karakteristik PIM awal dan PIM setelah uji stabilitas.

Smartphone Galaxi A13 (SM-A135F/DS) yang dilengkapi dengan *microlens* digunakan untuk pengambilan gambar pada saat pengukuran *water contact angle* PIM. Sudut kontak yang dibentuk antara air dan permukaan PIM dianalisis dan ditentukan menggunakan *software Image-J*. *Tensile Testing Machine* (Brookfield CT3) digunakan untuk pengukuran *tensile strength* dan *% elongation* dari PIM yang diproduksi. PIM yang digunakan dalam penelitian ini dibuat dari PVC (Sigma-Aldrich, Netherlands) dan D2EHFA (Sigma-Aldrich, Amerika Serikat) dengan komposisi optimum 60% PVC dan 40% D2EHFA [26]. Tetrahidrofur (THF, *EMD Millipore Corporation, Germany*) digunakan sebagai pelarut dalam pembuatan PIM. PIM dibuat dengan berat total 320 gram sesuai dengan prosedur yang dideskripsikan dalam Nitti dkk (2018) [14].

Secara singkat, PIM dibuat dengan melarutkan D2EHFA (128 mg) dengan pelarut tetrahidrofur (THF) sebanyak 5 mL di dalam botol lab kaca 25 mL. Setelah itu campuran diaduk menggunakan *magnetic stirrer* secara perlahan sambil ditambahkan sedikit demi sedikit PVC (192 mg). Proses pengadukan dilakukan secara konstan hingga kedua komponen larut sempurna, yang ditandai dengan terbentuknya larutan yang transparan. Larutan tersebut dipipet dan dimasukkan ke dalam cawan petri secara merata, kemudian ditutup menggunakan tisu dan penutup cawan petri. Selanjutnya, campuran ditutup lagi menggunakan *aluminium tray* dengan tujuan untuk meminimalisir terjadinya kontak antara campuran PIM secara langsung dengan udara luar yang mengandung uap air selama proses evaporasi \pm 24-48 jam. Dari proses ini diperoleh membran yang transparan, elastis, tipis, dan permukaannya tidak berminyak.

Uji stabilitas PIM dilakukan dengan menggunakan larutan uji HCl 2,5 M. Secara ringkas, PIM berbentuk lingkaran (diameter 80

mm) dipotong dari bagian tengah PIM yang dibuat. Masing-masing PIM ditimbang untuk mengetahui berat awalnya. Selanjutnya, masing-masing PIM dimasukkan ke dalam gelas beker yang berisi 100 mL larutan HCl 2,5 M dan kemudian ditutup menggunakan *aluminum foil* dan dibiarkan selama ± 24 jam. Setelah itu, PIM dikeluarkan dari dalam larutan dan dikeringkan permukaannya menggunakan tisu dan dibiarkan pada udara terbuka selama beberapa jam untuk memastikan semua PIM tersebut bebas dari molekul air yang terperangkap pada PIM. Selanjutnya, PIM kembali ditimbang dan berat yang diperoleh dicatat sebagai berat PIM setelah perendaman selama 24 jam. Selanjutnya, PIM dimasukkan kembali ke dalam larutan 2,5 M HCl yang sama dan prosedur lanjutan yang sama dilakukan untuk uji stabilitas PIM pada hari ke 2 – 7. Presentasi kehilangan massa PIM setelah perendaman dalam larutan 2,5 M HCl setiap harinya dapat dihitung menggunakan persamaan 1. Sebagai pembandingan, uji stabilitas PIM juga dilakukan dengan dua cara berbeda. Pertama, PIM direndam dalam 100 mL air. Kedua, PIM dibiarkan dalam gelas kimia tanpa larutan dan dibiarkan terekspos pada udara terbuka. Untuk kedua perlakuan ini, berat PIM ditentukan dengan cara ditimbang untuk menentukan berat PIM setiap 24 jam selama uji stabilitas PIM.

$$\text{Kehilangan Massa (\%)} = \frac{W_0 - W_t}{W_0} \times 100\% \quad (1)$$

dengan W_0 adalah berat PIM mula-mula, W_t adalah berat PIM setelah pengujian hari tertentu.

Uji sifat fisika dan karakterisasi PIM menggunakan SEM dan FTIR dilakukan sebelum dan sesudah uji stabilitas dalam HCl 2,5 M. Sifat fisika yang diuji meliputi *water contact angle* dan *water uptake*, *tensile strength* dan % *elongation*. *Water contact angle* dan *water uptake* diuji untuk mengetahui sifat hidrofilitas atau hidrofobitas dari PIM [27]. *Tensile strength* dan % *elongation* dari PIM diuji untuk menentukan kuat tarik dan fleksibilitas dari PIM [28]. Karakterisasi menggunakan FTIR dilakukan untuk mengidentifikasi jenis gugus fungsi pada PIM dan jenis interaksi yang terlibat antara komponen kimia penyusun PIM. Sementara itu, karakterisasi menggunakan SEM dilakukan untuk menentukan morfologi permukaan PIM sebelum dan sesudah uji stabilitas.

HASIL DAN PEMBAHASAN

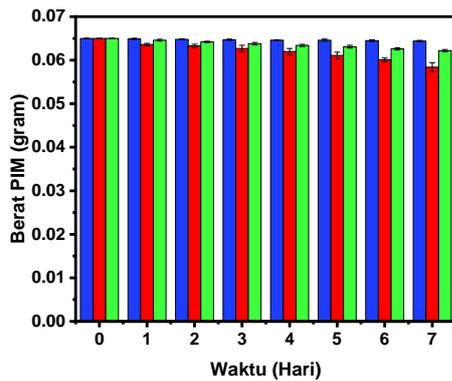
PIM yang ideal merupakan PIM yang harus memenuhi beberapa kriteria berikut diantaranya: transparan, elastis, tipis, dan permukaannya tidak berminyak. PIM yang dibuat dalam penelitian ini merujuk pada hasil optimasi komposisi PIM yang terdiri dari PVC dan D2EHPA yang telah dilakukan oleh Kolev dkk (2009) yang menemukan bahwa komposisi optimum PIM dari kedua bahan tersebut adalah 60% PVC dan 40% D2EHPA [29]. Gambar 1 menunjukkan PIM yang diproduksi dalam penelitian ini.



Gambar 1. PIM yang dibuat dengan komposisi 60% PVC dan 40% D2EHPA

Uji stabilitas PIM

Uji stabilitas PIM merupakan salah satu hal yang sangat penting dilakukan untuk mengetahui seberapa stabilnya PIM setelah digunakan secara berulang dalam suatu larutan yang bersifat asam, basa, garam serta larutan yang mengandung lemak dan alkohol. PIM yang memiliki stabilitas yang baik apabila tidak mengalami perubahan massa dan morfologi permukaan membran [30]. Umumnya ketidakstabilan PIM disebabkan oleh hilangnya fase cair membran ke larutan berair yang mengalami kontak langsung dengan membran dan dapat diukur dengan menghitung persentase kehilangan massa sehingga menentukan penggunaan kembali membran [31]. Penggunaan larutan asam dalam penelitian ini dikarenakan dalam beberapa proses pemisahan berbagai jenis kation logam seperti emas dan perak dari limbah elektronik banyak menggunakan larutan asam seperti HCl. Selain itu HCl juga umumnya digunakan sebagai pembuat suasana asam dalam berbagai proses pemisahan menggunakan PIM [27]. Hasil uji stabilitas PIM dalam penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 2.



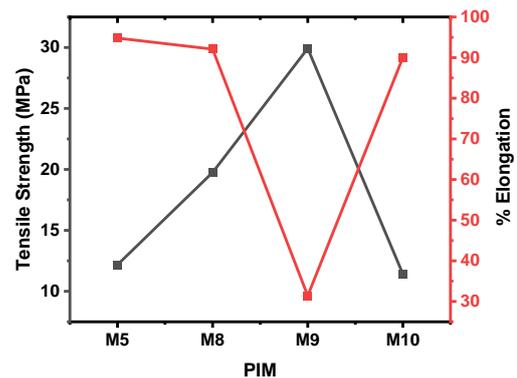
Gambar 2. Stabilitas PIM yang dibiarkan pada udara terbuka (■), dalam air (■), dan dalam 2,5 M HCl (■)

Gambar 2 menunjukkan bahwa PIM yang diuji stabilitasnya memiliki berat awal yang sama yakni 0,650 gram. Secara umum, terlihat bahwa PIM yang dibiarkan pada udara terbuka, direndam dalam larutan 2,5 M HCl, dan dalam air mengalami penurunan berat. PIM yang dibiarkan terbuka pada udara terbuka memiliki stabilitas yang lebih baik setelah dibiarkan selama 7 hari dibandingkan dengan PIM yang direndam dalam larutan HCl 2,5 M dan air. PIM ini mengalami penurunan berat dari 0.065 gram di hari pertama menjadi 0.0644 di hari ke tujuh, setara dengan persentase kehilangan berat sebesar 0,92%. Penurunan massa terbesar terjadi setelah dilakukan perendaman dalam air dimana PIM mengalami penurunan massa dari hari pertama sebesar 0,0636 gram dan di hari ketujuh menjadi 0,0584 gram. Pengurangan berat PIM ini setara dengan 10,15% penurunan. Hal ini diduga disebabkan oleh terlepasnya ekstrak D2EHPA ke dalam air yang mengalami kontak langsung dengan PIM. Ini disebabkan karena dua faktor: (1) D2EHPA memiliki tingkat kelarutan yang baik dalam larutan yang memiliki pH netral seperti air; (2) PIM cenderung terdeprotonasi dalam suasana basa dan netral yang menyebabkannya mudah larut dalam air [32,33]. Sementara itu, PIM yang direndam larutan HCl 2,5 M mengalami penurunan 0,065 gram di hari pertama menjadi 0,0622 gram di hari ketujuh, setara dengan 4,3% kehilangan berat PIM. Penurunan berat PIM dalam larutan asam ini lebih kecil jika dibandingkan dengan penurunan berat PIM di dalam air. Hal ini menunjukkan bahwa larutan yang mengandung asam mampu menekan atau

mengurangi terlepasnya ekstrak D2EHPA ke larutan selama proses perendaman. Hal ini disebabkan karena tingginya konsentrasi H^+ menghambat disosiasi ekstrak D2EHPA atau D2EHPA akan cenderung berada dalam kondisi terprotonasi sehingga D2EHPA akan lebih kuat tertahan pada PIM [34]. Secara keseluruhan, hasil penelitian ini menunjukkan bahwa penurunan massa PIM selama uji stabilitas disebabkan oleh hilangnya fase cair berupa ekstrak.

Tensile Strength dan % Elongation

Pengujian *tensile strength* bertujuan untuk mengetahui kekuatan membran apabila diberikan gaya tarik dengan besaran tertentu sedangkan % *elongation* diuji untuk mengetahui persen pertambahan panjang PIM maksimum pada saat memperoleh gaya tarik sampai membran putus [28]. Persentase pemanjangan PIM berbanding terbalik dengan kekuatan tarik, dimana semakin besar persentase pemanjangan, semakin kecil nilai kekuatan tarik pada PIM. *Elongation* bertujuan untuk mengetahui tingkat elastisitas membran saat membran terjadi perpanjangan putus. Hasil pengukuran *tensile strength* dan % *elongation* Gambar 3.



Gambar 3. Hasil pengujian *tensile strength* dan % *elongation* untuk PIM sebelum uji stabilitas (M5), dan setelah dibiarkan pada udara terbuka (M8), dalam air (M9), dan dalam 2,5 M HCl (M10) selama 7 hari

Gambar 3 menunjukkan bahwa *tensile strength* dan % *elongation* untuk PIM sebelum uji stabilitas (M5) berturut-turut bernilai 12,18 Mpa dan 94,8%. Hasil ini bersesuaian dengan nilai *tensile strength* dan % *elongation* dari PIM dengan komposisi 60% PVC dan 40%

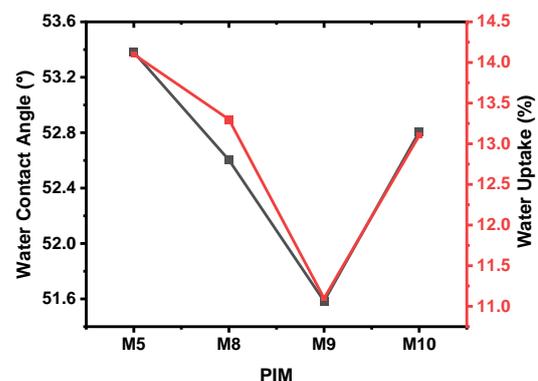
D2EHPA yang dilaporkan oleh Ncib dkk (2023). Hasil penelitian Ncib dkk (2023) menunjukkan bahwa PIM dengan komposisi yang sama memiliki nilai *tensile strength* pada rentang 10 – 20 Mpa dan % *elongation* pada rentang 90-100% [35]. Selanjutnya, nilai *tensile strength* PIM setelah dibiarkan pada udara terbuka (M8), dalam air (M9), dan dalam 2,5 M HCl (M10) selama 7 hari berturut-turut bernilai 19,75 MPa; 29,92 Mpa; dan 11, 42 Mpa. Data ini menunjukkan nilai *tensile strength* PIM mengalami peningkatan yang lebih signifikan ketika direndam selama 7 hari di dalam air dibandingkan dengan dua kondisi pengujian lainnya. Hal ini diduga disebabkan karena terlepasnya komponen PIM yang berfungsi memberikan sifat plastisitas pada PIM (D2EHPA) ke air yang mengalami kontak langsung dengan PIM [27]. Hal yang sama menyebabkan penurunan yang signifikan dari % *elongation* PIM ketika direndam dalam air selama 7 hari. Terlepasnya komponen ekstrak D2EHPA dari PIM selama perendaman dalam air menyebabkan PIM kehilangan sifat plastisitas dan fleksibilitas yang menyebabkan terjadinya pengurangan nilai persen pemanjangan dari PIM. Selain itu, Gambar 3 juga menunjukkan bahwa % *elongation* PIM sebelum uji stabilitas (M5) tidak mengalami perubahan signifikan setelah dibiarkan pada udara terbuka (M8) atau direndam dalam 2,5 M HCl (M10) selama 7 hari.

Water Contact Angle dan Water Uptake

Water contact angle dan *water uptake* dari PIM diuji untuk memahami sifat hidrofobik dan hidrofilik dari membran yang dapat mempengaruhi kinerja membran. Sudut kontak PIM umumnya dipengaruhi oleh sifat rantai polimer pendukung dan fasa cair yang terdapat dalam membran. Nilai sudut kontak membran lebih kecil dari 90° mengindikasikan semakin tinggi hidrofilitasnya, sebaliknya nilai sudut kontak yang lebih besar dari 90° menunjukkan semakin tinggi hidrofobitas membran [36]. Hasil pengukuran *water contact angle* dan *water uptake* untuk PIM sebelum uji stabilitas (M5), dan setelah dibiarkan pada udara terbuka (M8), dalam air (M9), dan dalam 2,5 M HCl (M10) selama 7 hari ditunjukkan pada Gambar 4.

Gambar 4 menunjukkan bahwa sudut kontak dari PIM dengan komposisi 60% PVC

dan 40% D2EHPA sebelum uji stabilitas bernilai 53,38° sedangkan *water uptakenya* bernilai 14,1%. Nilai sudut kontak ini menunjukkan bahwa PIM dengan komposisi ini bersifat hidrofilik yang disebabkan oleh adanya keberadaan D2EHPA dalam PIM yang bersifat hidrofilik [37]. Nilai sudut kontak PIM ini setelah dibiarkan pada udara terbuka (M8), dalam air (M9), dan dalam 2,5 M HCl (M10) selama 7 hari adalah berturut-turut 52,60°; 51,58°; dan 52,81°. Data ini menunjukkan tidak signifikannya pengurangan nilai sudut kontak dari PIM setelah dibiarkan pada udara terbuka (M8), dalam air (M9), dan dalam 2,5 M HCl (M10) selama 7 hari. Ini juga terkonfirmasi melalui nilai *water uptake* dari kontak PIM setelah dibiarkan pada udara terbuka (M8), dalam air (M9), dan dalam 2,5 M HCl (M10) selama 7 hari berturut-turut sebesar 13,3; 11,1 dan 13,1%. Data ini juga menunjukkan bahwa PIM yang dibiarkan pada udara terbuka (M8), dalam air (M9), dan dalam 2,5 M HCl (M10) selama 7 hari tidak mengalami perubahan sifat hidrofilitas yang signifikan.

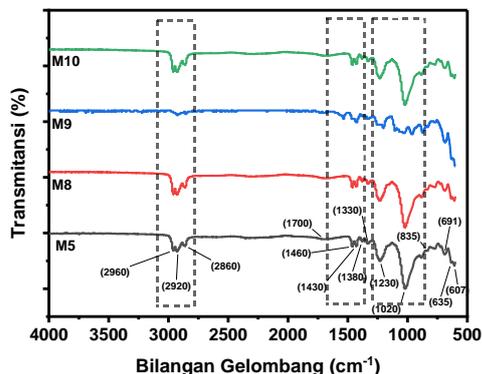


Gambar 4. Hasil pengujian *water contact angle* dan *water uptake* untuk PIM sebelum uji stabilitas (M5), dan setelah dibiarkan pada udara terbuka (M8), dalam air (M9), dan dalam 2,5 M HCl (M10) selama 7 hari

Karakterisasi PIM dengan FTIR

Karakterisasi menggunakan FTIR dilakukan untuk mengidentifikasi gugus fungsi komponen kimia penyusun PIM dan mengidentifikasi jenis interaksi yang terjadi antara komponen penyusun PIM [27]. Dalam penelitian ini, FTIR digunakan untuk mendeteksi adanya interaksi yang terjadi antara komponen yang terdapat pada M5, M8, M9 dan M10. Gambar 5 menunjukkan spektra FTIR

dari PIM sebelum uji stabilitas (M5), dan setelah dibiarkan pada udara terbuka (M8), dalam air (M9), dan dalam 2,5 M HCl (M10) selama 7 hari.



Gambar 5. Hasil pengujian FTIR untuk PIM sebelum uji stabilitas (M5), dan setelah dibiarkan pada udara terbuka (M8), dalam air (M9), dan dalam 2,5 M HCl (M10) selama 7 hari

Spektra FTIR pada Gambar 5 (M5) menunjukkan spektra FTIR PIM dengan komposisi 60% PVC dan 40% D2EHPA sebelum uji stabilitas. Spektra tersebut menunjukkan beberapa puncak karakteristik PVC dan D2EHPA yang bersesuaian dengan spektra komponen murni PVC dan D2EHPA. Spektra FTIR M5 menunjukkan adanya peregangan (*stretching*) C-Cl pada puncak 835 cm^{-1} dan 691 cm^{-1} . Pita dengan puncak 1230 cm^{-1} merupakan serapan kuat yang disebabkan oleh kibasan (*wagging*) CH_2 karena atom C yang berikutnya memiliki atom klor yang menempel (CH_2Cl). Peregangan (*stretching*) $-\text{CH}_2$ terlihat pada puncak 2920 cm^{-1} dan 2960 cm^{-1} . Untuk mode deformasi $-\text{CH}_2$ dapat diamati pada puncak 1430 cm^{-1} yang mana atom $-\text{CH}_2$ mengalun secara berlawanan (*gunting/scissors*) dan pada puncak 1330 cm^{-1} merupakan gerakan memutar (*twisting*) pada $-\text{CH}_2$ [38]. Ikatan regangan C-C tampak pada puncak 1066,442 cm^{-1} dan 1090,548 cm^{-1} . Sementara itu, pada puncak 607 cm^{-1} teridentifikasi kibasan cis CH (*cis CH wagging*), sedangkan untuk sisa residu THF selama proses evaporasi teridentifikasi pada puncak 1700 cm^{-1} yang merupakan gugus fungsi C=O [39].

Spektra FTIR M5 juga menunjukkan puncak karakteristik dari D2EHPA seperti serapan pada 1020 cm^{-1} yang merupakan pita yang menonjol dari gugus P-O-C dan P-O-H.

Selain itu, peregangan P=O dapat diamati pada puncak 1230 cm^{-1} . Selain itu terjadi deformasi $-\text{CH}_2$ pada puncak 1460 cm^{-1} dan 1380 cm^{-1} [39]. Dari spektra FTIR PIM M5, dapat disimpulkan bahwa tidak terjadinya interaksi kimia antara kedua komponen kimia penyusun PIM. Hal ini ditandai dengan adanya puncak karakteristik komponen tunggal penyusun PIM pada spektra hasil pengukuran FTIR PIM. Interaksi antara PVC dan D2EHPA dalam PIM hanya terjadi melalui interaksi fisik yang lemah seperti ikatan hidrogen dan Van Der Waals [2].

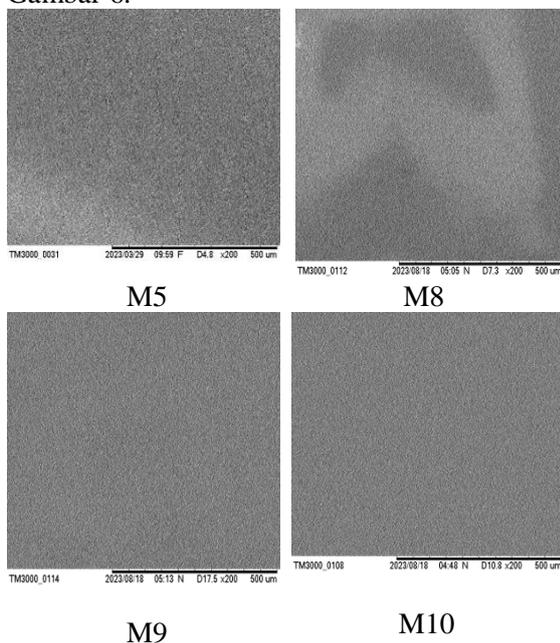
Gambar 5 juga menunjukkan spektra FTIR dari PIM yang telah dibiarkan pada udara terbuka (M8) dan dalam 2,5 M HCl (M10) selama 7 hari. Kedua spektra ini memiliki kemiripan puncak-puncak karakteristik PVC dan D2EHPA seperti yang telah diidentifikasi pada PIM sebelum uji stabilitas M5. Hal ini teridentifikasi dari beberapa puncak karakteristik untuk PVC dan D2EHPA seperti peregangan (*stretching*) C-Cl pada puncak 835 cm^{-1} dan 691 cm^{-1} , peregangan (*stretching*) $-\text{CH}_2$ pada puncak 2920 cm^{-1} dan 2960 cm^{-1} , dan gugus P-O-C dan P-O-H pada bilangan gelombang 1020 cm^{-1} , serta peregangan P=O pada puncak 1230 cm^{-1} . Hal ini menunjukkan bahwa PIM dengan komposisi 60% PVC dan 40% D2EHPA cukup stabil pada dua kondisi uji stabilitas: (1) saat dibiarkan pada udara terbuka dan (2) saat direndam dalam larutan 2,5 M HCl selama 7 hari. Hasil pengukuran FTIR ini konsisten dengan uji penurunan berat dimana membran yang direndam larutan HCl dan dibiarkan pada udara terbuka menunjukkan penurunan berat yang sangat kecil dan tidak signifikan jika dibandingkan dengan penurunan berat PIM yang di rendam dalam air selama 7 hari.

Gambar 5 juga menunjukkan spektra FTIR dari PIM M10 sesudah uji stabilitas di dalam air selama 7 hari. Spektra FTIR PIM ini (Gambar 5 PIM M10) menunjukkan hilangnya hampir semua puncak karakteristik PIM yang menunjukkan keberadaan komponen ekstraktan D2EHPA. Dari spektra FTIR PIM setelah uji stabilitas dalam air selama 7 hari, hanya teridentifikasi adanya gugus peregangan C-Cl pada 691 cm^{-1} dan gugus C-H *wagging* pada 610 cm^{-1} . Selain itu, teridentifikasi juga beberapa puncak karakteristik PVC dan D2EHPA namun dengan penurunan intensitas yang sangat signifikan. Hal ini mengindikasikan telah terlepasnya sebagian

besar komponen ekstrak D2EHPA dari PIM selama proses uji stabilitas (perendaman) dalam air selama 7 hari. Hal ini diduga disebabkan oleh adanya interaksi elektrostatik antara gugus polar fosfat dari D2EHPA dengan air yang memungkinkan terjadinya migrasi ekstrak D2EHPA dari dalam PIM ke air yang mengalami kontak langsung. Selain itu, hal ini juga berkaitan dengan kelarutan D2EHPA yang cenderung lebih besar di dalam larutan netral atau basa juga dibandingkan dengan kelarutannya di dalam larutan yang bersifat asam.

Karakterisasi PIM dengan SEM

Karakterisasi menggunakan SEM bertujuan untuk mengetahui struktur dan morfologi permukaan membran [1]. Karakterisasi PIM menggunakan SEM dilakukan untuk sebelum uji stabilitas (M5), dan setelah dibiarkan pada udara terbuka (M8), dalam air (M9), dan dalam 2,5 M HCl (M10) selama 7 hari. Hasilnya ditunjukkan pada Gambar 6.



Gambar 6. Hasil karakterisasi SEM untuk PIM sebelum uji stabilitas (M5), dan setelah dibiarkan pada udara terbuka (M8), dalam air (M9), dan dalam 2,5 M HCl (M10) selama 7 hari

Gambar 6 menunjukkan tidak terdapat perbedaan yang signifikan antara PIM sebelum uji stabilitas maupun sesudah uji stabilitas dengan kondisi: (1) dibiarkan pada udara

terbuka (M8), (2) dalam air (M9), dan (3) dalam 2,5 M HCl (M10) selama 7 hari. Gambar SEM PIM sebelum uji stabilitas menunjukkan permukaan membran tampak padat dengan beberapa pori kecil [40]. Hal ini menunjukkan bahwa ekstrak D2EHPA telah terdistribusi secara merata pada polimer pendukung selama proses pembuatan PIM. Hasilnya distribusi D2EHPA yang merata ini meningkatkan porositas membran serta jumlah pori-pori yang ditemukan pada permukaan membran [34; 39].

Karakterisasi PIM yang diperoleh dari hasil uji stabilitas memiliki pori-pori yang kecil pada permukaan PIM. Hasil SEM yang diperoleh tidak berbeda jauh dengan PIM yang dibuat dari PVC 60% dan D2EHPA 40%. Ini menunjukkan bahwa PIM dengan komposisi ini cukup stabil walaupun direndam di dalam larutan 2,5 M HCl dan dibiarkan pada udara terbuka. Namun demikian, karakterisasi menggunakan SEM dengan perbesaran yang lebih tinggi diperlukan untuk mengetahui perbedaan karakteristik morfologi permukaan PIM yang diuji dalam air dengan PIM sebelum diuji stabilitas.

SIMPULAN DAN SARAN

Hasil penelitian ini menunjukkan PIM yang dibuat dengan komposisi 60% PVC dan 40% D2EHPA memiliki karakteristik fisik yang ideal seperti tipis, transparan, fleksibel dengan permukaan yang tidak berminyak. Hasil karakterisasi menggunakan FTIR menunjukkan bahwa tidak terdapat interaksi kimia antara PVC dan D2EHPA sebagai komponen kimia penyusun PIM. Interaksi yang terjadi antara PVC dan D2EHPA hanya berupa interaksi fisik yang lemah melalui ikatan hidrogen dan Van Der Waals. Selain itu, hasil karakterisasi menggunakan SEM menunjukkan bahwa PIM yang dibuat memiliki morfologi permukaan yang tampak padat, halus dan homogen yang mengindikasikan bahwa D2EHPA sebagai fase cair PIM telah terdistribusi merata pada rantai polimer pendukung PVC. Hasil uji stabilitas berturut-turut menunjukkan penurunan berat PIM yang dibiarkan pada udara terbuka, dalam air, dan dalam 2,5 M HCl selama 7 hari sebesar 0,92%; 10,15% dan 4,30%. Trend ini secara umum menunjukkan bahwa PIM dengan komposisi 60% PVC dan 40% D2EHPA memiliki kestabilan yang lebih baik di dalam larutan yang bersifat asam dibandingkan dengan larutan yang bersifat netral. Selain itu,

PIM memiliki kestabilan yang baik jika dibiarkan pada udara terbuka.

Perbandingan karakteristik spektra FTIR PIM sebelum dan setelah uji stabilitas menunjukkan PIM yang direndam di dalam air mengalami kehilangan sebagian besar D2EHPA selama proses uji stabilitas. Sebaliknya PIM yang direndam di dalam HCl 2,5 M dan dibiarkan pada udara terbuka memiliki karakteristik spektra FTIR yang mirip dengan spektra FTIR PIM sebelum diuji stabilitasnya. Perbedaan karakteristik spektra FTIR PIM sebelum dan setelah uji stabilitas dengan direndam di dalam air ini juga terkonfirmasi melalui perbedaan karakteristik fisika PIM sebelum dan sesudah uji stabilitas yang meliputi *water contact angle*, *water uptake*, *tensile strength* dan *% elongation*. Secara keseluruhan, hasil penelitian ini mengindikasikan bahwa PIM yang dibuat dengan komposisi PVC 60% dan D2EHPA 40% disarankan untuk digunakan dalam pemisahan pada kondisi asam untuk mempertahankan stabilitas dan efisiensi pemisahannya.

UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Lembaga Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat (LP2M), Universitas Nusa Cendana, yang telah menyediakan dana dan dukungan untuk penelitian ini melalui skema Penelitian Dasar Unggulan Perguruan Tinggi (PDUPT) tahun 2024. Penulis juga berterima kasih untuk dukungan fasilitas untuk penelitian ini yang diberikan oleh Laboratorium Kimia, Fakultas Sains dan Teknik dan Laboratorium Terpadu Biosains, Universitas Nusa Cendana.

DAFTAR PUSTAKA

- 1 Nghiem LD, Mornane P, Potter ID, Perera J, Cattrall RW, Kolev SD. 2006. Extraction and transport of metal ions and small organic compounds using polymer inclusion membranes (PIMs). *Journal of Membrane Science*. **281** (1-2): 7-41.
- 2 Fajar ATN, Goto M. 2023. Enabling metal sustainability with polymer inclusion membranes: A critical review. *Journal of Chemical Engineering of Japan*. **56** (1): 2153547.
- 3 Almeida MIGS, Cattrall RW, Kolev SD. 2017. Polymer inclusion membranes (PIMs) in chemical analysis - A review. *Analytica Chimica Acta*. **987**: 1-14.
- 4 Sellami F, Kebiche-Senhadji O, Marais S, Fatyeyeva K. 2022. PVC/EVA-based polymer inclusion membranes with improved stability and Cr(VI) extraction capacity: Water plasticization effect. *Journal of Hazardous materials*. **436**: 129069.
- 5 Meng X, Li J, Lv Y, Feng Y, Zhong Y. 2020. Electro-membrane extraction of cadmium(II) by bis(2-ethylhexyl) phosphate/kerosene/polyvinyl chloride polymer inclusion membrane. *Journal of Hazardous materials*. **386**: 121990.
- 6 Baczyńska M, Słomka Z, Rzelewska M, Waszak M, Nowicki M, Regel-Rosocka M. 2018. Characterization of polymer inclusion membranes (PIM) containing phosphonium ionic liquids and their application for separation of Zn(II) from Fe(III). *Journal of Chemical Technology & Biotechnology*. **93** (6): 1767-1777.
- 7 Hoque B, Almeida MIGS, Cattrall RW, Gopakumar TG, Kolev SD. 2019. Effect of cross-linking on the performance of polymer inclusion membranes (PIMs) for the extraction, transport and separation of Zn(II). *Journal of Membrane Science*. **589**: 117256.
- 8 Huang S, Chen J, Chen L, Zou D, Liu C. 2020. A polymer inclusion membrane functionalized by di(2-ethylhexyl) phosphinic acid with hierarchically ordered porous structure for Lutetium(III) transport. *Journal of Membrane Science*. **593**: 117458.
- 9 Govindappa H, Bhat MP, Uthappa UT, Sriram G, Altalhi T, Prasanna Kumar S, Kurkuri M. 2022. Fabrication of a novel polymer inclusion membrane from recycled polyvinyl chloride for the real-time extraction of arsenic (V) from water samples in a continuous process. *Chemical Engineering Research and Design*. **182**: 145-156.
- 10 Fajar ATN, Hanada T, Firmansyah ML, Kubota F, Goto M. 2020. Selective separation of platinum group metals via sequential transport through polymer inclusion membranes containing an ionic liquid carrier. *ACS Sustainable Chemistry & Engineering*. **8** (30): 11283-11291.

- 11 Firmansyah ML, Salsabila Z, Andika NTS, Prasetyo VG, Ardian YS, Yahya MH. 2023. Removal of hexavalent chromium using a PVDF-based polymer inclusion membrane with a phosphonium-based ionic liquid. *Malaysian Journal of Catalysis*. 7 (1): 13-19.
- 12 Sellami F, Kebiche-Senhadji O, Marais S, Colasse L, Fatyeyeva K. 2020. Enhanced removal of Cr(VI) by polymer inclusion membrane based on poly(vinylidene fluoride) and Aliquat 336. *Separation and Purification Technology*. 248: 117038.
- 13 Nitti F, 2020. Development of flow-through devices for passive sampling of zinc (II) in aquatic systems free from environmental effects. University of Melbourne.
- 14 Nitti F, Almeida MIGS, Morrison R, Cattrall RW, Pettigrove VJ, Coleman RA, Kolev SD. 2018. Development of a portable 3D-printed flow-through passive sampling device free of flow pattern effects. *Microchemical Journal*. 143: 359-366.
- 15 Nitti F, Almeida MIGS, Morrison R, Cattrall RW, Pettigrove VJ, Coleman RA, Kolev SD. 2022. Flow-through passive sampler for zinc in freshwaters free from flow pattern, water cationic composition and temperature effects. *Microchemical Journal*. 177: 107294.
- 16 Kiswandono AA, Rinawati R, Agustina W, Hadi N, Nurhasanah N, Rahmawati A, Nitti F, Lusiana RA. 2024. Transport of phenol using supported liquid membrane containing Eugenol cross-linked by diallyl phthalate or divinyl benzene as a carrier. *Journal of Membrane Science and Research*. -.
- 17 Kiswandono AA, Sindiani AV, Khotimah RK, Rabbani MB, Kurniawan B, Rinawati R, Putra HE. 2024. Transport of malachite green using the polyeugenol-based polymer inclusion membrane (PIM) Method. *Journal of Membrane Science and Research*. 10 (1): 1-5.
- 18 Kuswandi B, Nitti F, Almeida MIGS, Kolev SD. 2020. Water monitoring using polymer inclusion membranes: A review. *Environmental Chemistry Letters*. 18 (1): 129-150.
- 19 Aini HN, Rumhayati B, Fardiyah Q, Wiryawan A, Andayani U, Azzah AN. 2022. The performance and characterization of polymeric inclusion membranes (PIMs) containing 2-nitro phenyl octyl ether as plasticizer on phosphate transport. *Jurnal Kimia Valensi*. 8 (2): 178-189.
- 20 Keskin B, Zeytuncu-Gökoğlu B, Koyuncu I. 2021. Polymer inclusion membrane applications for transport of metal ions: A critical review. *Chemosphere*. 279: 130604.
- 21 Rumhayati B, Wiryawan A, Dinira L, Afifah S. 2021. Fabrication and characterization of passive sampler using polymeric inclusion membrane (PIM) as diffusion layer for phosphate measurement. *JKPK (Jurnal Kimia dan Pendidikan Kimia)*. 6 (1): 29-38.
- 22 Nitti F, Selan OTE, Hoque B, Tambaru D, Djunaidi MC. 2022. Improving the performance of polymer inclusion membranes in separation process using alternative base polymers: A review. *Indonesian Journal of Chemistry*. 22 (1): 284 - 302.
- 23 Kaczorowska MA. 2022. The use of polymer inclusion membranes for the removal of metal ions from aqueous solutions—The latest achievements and potential industrial applications: A review. *Membranes*. 12 (11): 1135.
- 24 Almeida MIGS, Cattrall RW, Kolev SD. 2012. Recent trends in extraction and transport of metal ions using polymer inclusion membranes (PIMs). *Journal of Membrane Science*. 415-416: 9-23.
- 25 Wang D, Hu J, Liu D, Chen Q, Li J. 2017. Selective transport and simultaneous separation of Cu(II), Zn(II) and Mg(II) using a dual polymer inclusion membrane system. *Journal of Membrane Science*. 524: 205-213.
- 26 Carner CA, Croft CF, Kolev SD, Almeida MIGS. 2019. Green solvents for the fabrication of polymer inclusion membranes (PIMs). *Separation and Purification Technology*. 239: 116486.
- 27 Oluwasola IE, Ahmad AL, Shoparwe NF. 2022. Preliminary Study on the Stability of Self Plasticised Thin-Flat

- PIM for the Extraction of 2-(4-Isobutylphenyl) Propanoic Acid (Ibuprofen). *Journal of Membrane Science and Research*. 8 (4).
- 28 Rensini WA, Kadang L, Lapailaka T, Naat JN, Pingak RK, Kapitan OB, Nitti F. 2024. Uji stabilitas polymer inclusion membrane dari polimer pendukung PVC, ekstrak D2EHPA, dan plasticizer asam oleat pada kondisi asam. *Jurnal Beta Kimia*. 4 (1): 1-18.
- 29 Kolev SD, Baba Y, Cattrall RW, Tasaki T, Pereira N, Perera JM, Stevens GW. 2009. Solid phase extraction of Zinc(II) using a PVC-based polymer inclusion membrane with di(2-ethylhexyl)phosphoric acid (D2EHPA) as the carrier. *Talanta*. 78 (3): 795-799.
- 30 Benosmane N, Boutemour B, Hamdi SM, Hamdi M. 2022. Removal of methylene blue dye from aqueous solutions using polymer inclusion membrane technology. *Applied Water Science*. 12 (5): 104.
- 31 Maiphethlo K, Shumbula N, Motsoane N, Chimuka L, Richards H. 2020. Evaluation of silver nanocomposite polymer inclusion membranes (PIMs) for trace metal transports: Selectivity and stability studies. *Journal of Water Process Engineering*. 37: 101527.
- 32 Kagaya S, Ryokan Y, Cattrall RW, Kolev SD. 2012. Stability studies of poly(vinyl chloride)-based polymer inclusion membranes containing Aliquat 336 as a carrier. *Separation and Purification Technology*. 101: 69-75.
- 33 Zhang LL, Cattrall RW, Ashokkumar M, Kolev SD. 2012. On-line extractive separation in flow injection analysis based on polymer inclusion membranes: a study on membrane stability and approaches for improving membrane permeability. *Talanta*. 97: 382-387.
- 34 Dahdah H, Sellami F, Dekkouche S, Benamor M, Senhadji-Kebiche O. 2022. Stability study of polymer inclusion membranes (PIMs) based on acidic (D2EHPA), basic (Aliquat 336) and neutral (TOPO) carriers: effect of membrane composition and aqueous solution. *Polymer Bulletin*. 1-31.
- 35 Ncib S, Chibani A, Barhoumi A, Larchet C, Dammak L, Elaloui E, Bouguerra W. 2023. Separation of copper and nickel from synthetic wastewater by polymer inclusion membrane containing di(2-ethylhexyl) phosphoric acid. *Polymer Bulletin*. 80 (11): 12177-12192.
- 36 Cardoso VF, Machado AR, Pinto VC, Sousa PJ, Botelho G, Minas G, Lanceros-Méndez S. 2016. From superhydrophobic- to superhydrophilic-patterned poly(vinylidene fluoride-co-chlorotrifluoroethylene) architectures as a novel platform for biotechnological applications. *Journal of Polymer Science Part B: Polymer Physics*. 54 (18): 1802-1810.
- 37 Ji S, Gao C, Wang H, Liu Y, Zhang D, Zhang S, Lu X, Wu Y, Hu Z. 2019. Application of a bio-based polyester plasticizer modified by hydrosilicon-hydrogenation reaction in soft PVC films. *Polymers for Advanced Technologies*. 30 (4): 1126-1134.
- 38 Kebiche-Senhadjji O, Mansouri L, Tingry S, Seta P, Benamor M. 2008. Facilitated Cd(II) transport across CTA polymer inclusion membrane using anion (Aliquat 336) and cation (D2EHPA) metal carriers. *Journal of Membrane Science*. 310 (1-2): 438-445.
- 39 Gherasim C, Cristea M, Grigoras C, Bourceanu G. 2011. New polymer inclusion membrane. Preparation and characterization. *Digest Journal of Nanomaterials & Biostructures (DJNB)*. 6 (4): 1499-1508.
- 40 Ling YY, Mohd Suah FB. 2017. Extraction of malachite green from wastewater by using polymer inclusion membrane. *Journal of Environmental Chemical Engineering*. 5 (1): 785-794.