JURNAL INTEGRASI PROSES

Website: http://jurnal.untirta.ac.id/index.php/jip

Submitted : 18 August 2024 *Revised : 15 March 2025* *Accepted : 8 May 2025*

REKAYASA MEMBRAN NANOFIBER KOMPOSIT (MNK) BERBASIS KOMBINASI SERAT KAPUK DAN ZEOLIT ALAM BAYAH UNTUK FILTER DARAH TRANSFUSI

Rossita Qamara Azizah[1], Mareta Aprilliani[1], Ridho Assyidqi[1], Vania Shafadila[1], Eka Sari[1,2*]

[1]Chemical Engineering Department, Faculty of Engineering, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa, Cilegon, 42435, Indonesia

[2]Bioengineering and Biomedical Engineering Laboratory, Research Center CoE Faculty of Engineering, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa, Cilegon, 42435, Indonesia

[*]Email: ekasari@untirta.ac.id

Abstrak

Thalasemia adalah penyakit turunan dengan kondisi kelainan darah, di mana sel darah penderita lemah dan berumur pendek. Banyak anak penderita penyakit ini sejak lahir memerlukan transfusi darah secara terus-menerus sepanjang hidupnya. Pendonor darah biasanya orang dewasa, dan darah yang ditransfusikan sering kali mengandung zat besi tinggi. Hal ini menyebabkan penderita memiliki kandungan zat besi yang tinggi, sehingga menimbulkan efek lain setelah transfusi darah secara terus-menerus. Efek yang timbul adalah terjadinya penumpukan zat besi pada organ jantung, hati, dan ginjal yang menyebabkan penyakit lain pada penderita. Penelitian ini bertujuan menanggulangi efek transfusi darah terhadap kandungan zat besi yang ada pada penderita, yaitu dengan membuat filter darah yang dapat menyaring zat besi dalam darah sebelum dilakukan transfusi darah ke penderita thalasemia. Filter darah dibuat dari selulosa kapuk dan zeolit alam Bayah yang telah diaktivasi sebagai pengikat zat besi. Selanjutnya, bahan tersebut dikompositkan secara homogen dengan metode *plating* untuk membentuk membran yang dapat menyaring zat besi dalam darah. Diharapkan filter darah ini dapat mengurangi kandungan zat besi dalam darah yang didonorkan untuk penderita thalasemia. Selulosa diekstraksi dari kapuk dengan NaOH 17,5%. Selulosa disintesis menjadi selulosa asetat (SA). Zeolit alam diaktivasi dan dikalsinasi. SA dan zeolit dikompositkan menjadi membran dengan teknik inversi fase, lalu diuji penyaringan dengan darah. Hasil penelitian menunjukkan membran SA/zeolit dengan karakteristik terbaik pada konsentrasi PEG 30%, diameter pori 0,883 μm, nilai fluks 0,0091 mL/cm^2.menit, kristalinitas 99,5%, dan penurunan zat besi sebesar 6,5%.

Kata Kunci: Membran filter darah; Selulosa asetat; Zeolit teraktivasi

Abstract

Thalassemia is a hereditary blood disorder where the blood cells of sufferers are weak and short-lived. Many children with this disease since birth require continuous blood transfusions throughout their lives. Blood donors are usually adults, and the transfused blood usually contains high iron. This causes the sufferer to have a high iron content, which leads to other effects after continuous blood transfusions are carried out. The effects that arise are the accumulation of iron in the heart, liver, and kidneys, which can lead to other diseases in affected individuals. This study aims to mitigate the effects of blood transfusions on iron content in patients, specifically by developing a blood filter that can remove iron from the blood before transfusion is administered to thalassemia patients. The blood filter made in this study is made from kapok cellulose and activated bayah natural zeolite as an iron binder. Furthermore, it is homogeneously composited using the plating method and forms a membrane that acts as a filter, allowing it to remove iron from the blood. It is expected that this blood filter can reduce the iron content in blood donated to individuals with thalassemia. Cellulose is extracted from kapok with 17.5% NaOH. Cellulose was synthesized into cellulose acetate (SA). Natural zeolite was activated and calcined. SA and zeolite were composited into a membrane using the phase inversion technique, and a blood filtration test was performed. The study identified the best

characteristics for the SA/zeolite membrane at a 30% PEG concentration, a pore diameter of 0.883 µm, and a flux value of 0.0091 mL/cm^2.min, with a crystallinity of 99.5% and an iron reduction of 6.5%.

***Keywords**: Activated zeolite; Blood filter membrane; Cellulose acetate*

1. PENDAHULUAN

Kelainan darah pada sel darah merah yang disebabkan oleh hemoglobin yang tidak terbentuk sempurna dikenal sebagai thalasemia. Penurunan produksi atau pembentukan hemoglobin terjadi ketika adanya gangguan pada proses pembentukan rantai hemoglobin dalam sel darah merah (Ali et al., 2021). Data dari World Health Organization (WHO) menunjukkan bahwa 4,5% populasi global, atau sekitar 250 juta jiwa, memiliki gen thalasemia (Nurbahiyah et al., 2023). Sekitar 3,8% dari 275 juta penduduk di Indonesia membawa gen thalasemia (Suhada et al., 2022). Thalasemia menjadi salah satu penyebab anemia yang dimulai sejak masa kanak-kanak. Bagi anak penderita thalasemia, kualitas hidupnya menurun jika tidak mendapat pengobatan yang tepat. Transfusi darah seumur hidup merupakan salah satu cara pengobatan. Pengujian kadar hemoglobin dalam darah sebelum dan sesudah transfusi dapat digunakan untuk mengukur kualitas hidup individu yang menderita thalasemia (Suhada et al**.,** 2022). Pendonor darah umumnya dilakukan oleh orang dewasa. Efek dari transfusi darah yang sering dilakukan menyebabkan akumulasi zat besi, yang dapat memicu penyakit lain seperti gagal jantung. Sedangkan tubuh manusia tidak memiliki mekanisme untuk menghilangkan kelebihan zat besi (Arfie et al., 2022).

Indonesia, sebagai daerah tropis, banyak membudidayakan kapuk, yang memiliki kandungan selulosa sangat tinggi, permukaan halus tanpa akar, tidak ada struktur kasar, tingkat kekosongan tinggi, serta porositas sebesar 77% (Sangalang, 2021) dapat dimanfaatkan menjadi selulosa nanofiber untuk dimanfaatkan kembali dalam beragam penerapan seperti membran penyaringan (Kramar A. et al, 2022).

Saat ini, banyak dikembangkan pembuatan selulosa nanofiber dengan teknologi electrospinning, tetapi teknologi ini memiliki kelemahan, yaitu yield rendah, produksi skala besar terlalu kompleks, jumlah material yang diendapkan sedikit, dispersi listrik tinggi dengan campuran konduktif tinggi, dan tantangan dengan larutan air serta biomaterial (Hiwrale et al., 2023). Metode lainnya yaitu mengasetilasi selulosa menjadi selulosa asetat (SA) bebas pelarut, yang memberikan keunggulan efisiensi jumlah pelarut, limbah yang dihasilkan, dan waktu reaksi.

Kombinasi serat kapuk dan zeolit membantu memodifikasi sifat permukaan sehingga menghasilkan membran nanofiber komposit (MNK) yang unggul. Zeolit alam dapat ditemukan di daerah Bayah, Provinsi Banten, dan berbagai daerah lainnya (Hakiki et al., 2021). Zeolit dapat membantu dalam mengikat logam termasuk zat besi. Zeolit berperan sebagai bahan pengisi dengan karakteristik yang dibutuhkan yaitu memiliki permukaan sangat halus dan berpori kecil serta kemampuan adsorpsi yang akan menjerat ion logam, khususnya zat besi dalam darah. Metode plating membantu pembalikan fase dari sistem larutan atau dispersi menjadi padat. Keunggulan metode plating adalah prosesnya yang mudah dikendalikan untuk memungkinkan kontrol presisi terhadap sifat-sifat membran yang dihasilkan dan dapat diadaptasi untuk produksi massal. Dengan demikian, metode plating menjadi pilihan menarik dalam pengembangan nanoteknologi pembuatan MNK yang unggul.

Penelitian yang dilakukan oleh Raja (2016) tentang membran selulosa asetat dengan penambahan zeolit alam dan menggunakan metode inversi fase mengalami penurunan optimum logam Fe sebesar 0,55 mg/L. Penelitian rekayasa MNK dari kombinasi serat kapuk dan zeolit alam Bayah perlu dilakukan untuk mendapatkan MNK yang dapat menyaring zat besi dan logam lain yang terkandung dalam darah sehingga kandungannya berkurang sampai 65%. Hasil penelitian ini diharapkan dapat menjadi solusi alternatif untuk transfusi darah pada pasien thalasemia. Membran digunakan sebelum dilakukan proses transfusi darah. Darah pendonor difiltrasi menggunakan membran sebelum ditransfusikan.

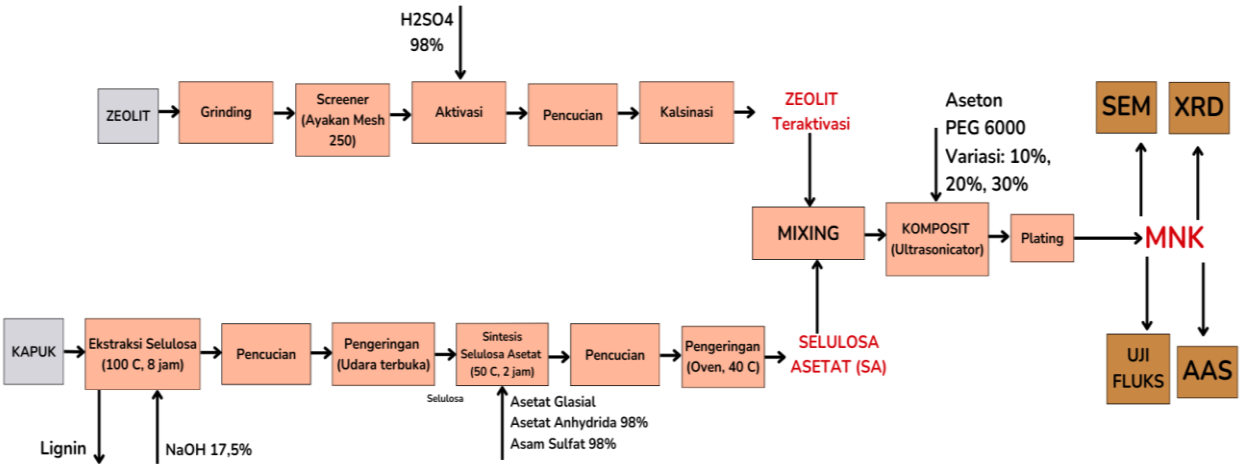
2. BAHAN DAN METODE

Pembuatan MNK dilakukan dengan alur proses dapat dilihat dari diagram alir pada Gambar 1. Bahan utama berupa kapuk dan zeolit alam Bayah. Bahan lainnya yaitu NaOH, asam sulfat, asam asetat glasial, asetat anhidrida, PEG 6000, dan akuades. Penelitian ini dilakukan pada Mei-Juli 2024 di Laboratorium Bioengineering and Biomedical, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa, Cilegon-Banten. Diagram alir penelitian secara keseluruhan dapat dilihat pada Gambar 1.

2.1 Preparasi Selulosa dan Sintesis Selulosa Asetat

Kapuk dialkalisasi dengan pemanasan kapuk dalam larutan NaOH 17,5% dengan perbandingan 1:100 (b/b), yaitu 10 gram kapuk membutuhkan 1000 mL NaOH 17,5%. Kapuk direndam selama 8 jam pada suhu 100 °C. Kapuk kemudian dicuci dengan akuades dan dikeringkan di udara terbuka (Mardiyati et al., 2016).

Pada sintesis SA, 1 gram selulosa, 20 mL asam asetat glasial, dan 7,5 mL asetat anhidrida dimasukkan ke erlenmeyer dan dipanaskan pada *hot plate stirrer* dengan suhu 50 °C sambil diaduk pada 400 rpm selama 1 jam. Setelah pemanasan, ditambahkan 5 mL asetat anhidrida dan 0,04 mL H_2SO_4 dengan suhu dan



Gambar 1. Diagram alir proses MNK

pengadukan yang sama selama 1 jam. Hasil yang diperoleh, ditambahkan 40 mL akuades dan diaduk manual selama 5 menit. Setelah itu disaring dengan kertas saring dan dikeringkan dalam oven pada suhu 40 °C (Jia et al., 2023).

2.2 Preparasi dan Aktivasi Zeolit

Bongkahan zeolit alam dihancurkan menjadi bubuk berukuran mikro dengan mortar dan diayak menggunakan ayakan 250 mesh. Zeolit diaktivasi dengan asam sulfat 0,5 M. Perbandingan zeolit dan asam sulfat adalah 1:10 dan diaduk hingga homogen menggunakan *magnetic stirrer* selama 2 jam. Kemudian dilakukan penyaringan dan pencucian berulang hingga pH netral. Tahapan selanjutnya dikeringkan di bawah sinar matahari dan dikalsinasi pada suhu 450 °C (Suhendi. et al., 2020).

2.3 Pembuatan MNK (Kombinasi SA/Zeolit)

Pada tahap ini, MNK dibuat dengan PEG sebagai pelarut dan zat aditif yang memodifikasi sifat permukaan membran serta selulosa asetat komersial sebagai penguat. Variasi konsentrasi PEG 10, 20, dan 30% dari jumlah SA yang telah dibuat. SA komersial dilarutkan dengan aseton perbandingan 1:10 (Istinanda et al., 2018). Ditambahkan selulosa buatan 1:1 terhadap SA komersial dan PEG sesuai variasi. Pengadukan dilakukan dengan *magnetic stirrer* tanpa pemanasan hingga homogen dan dilanjutkan perlakuan ultrasonikator 10 menit. Kemudian didiamkan hingga gelembung menghilang, lalu dilakukan plating di atas plat kaca dan dimasukkan ke dalam bak berisi air. Membran yang dihasilkan dikeringkan.

2.4 Karakterisasi MNK

Karakterisasi MNK dilakukan dengan 4 pengujian, diantaranya uji fluks, *atomic absorption spectroscopy* (AAS), *scanning electron microscope* (SEM), dan *x-ray diffraction* (XRD).

Pada uji fluks, membran diuji secara langsung menggunakan sampel darah yang didapatkan dari PMI Kota Cilegon. Setiap membran diuji menggunakan prototipe alat seperti pada Gambar 2. Pengujian dilakukan dengan menempatkan membran pada alat, mengalirkan darah dari atas hingga mengenai membran. Darah akan terserap oleh membran dan lolos melalui pori-pori membran. Saat membran terserap, zeolit yang terkandung dalam membran akan mengikat zat besi dalam darah.

Gambar 2. (a) Alat penyaringan dan (b) Pengujian penyaringan darah

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Pembuatan Membran

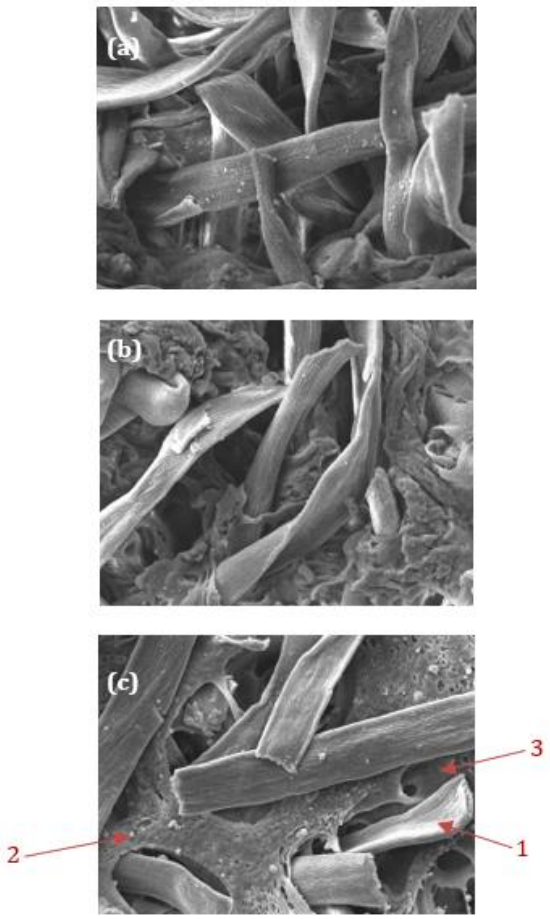
Membran yang dibuat dengan komposit antara selulosa asetat sebagai matriks dan zeolit sebagai pengisi. Selulosa $(C_6H_{10}O_5)n$ adalah polimer berantai panjang yang dapat diisolasi dari berbagai jenis tanaman, salah satunya kapuk. Ekstraksi selulosa dari kapuk dilakukan dengan proses delignifikasi untuk menghilangkan lignin menggunakan larutan NaOH 17,5%. Proses ini menghasilkan selulosa berbentuk serat. NaOH 17,5% adalah pelarut dengan konsentrasi yang luas, alfaselulosa tidak larut dalam larutan ini. Alfaselulosa yang terpisah dengan Lignin akan mempunyai sifat fisik yang baik karena lignin yang bersifat rapuh dan kaku (Astika, 2020).

Selulosa yang didapatkan, disintesis menjadi selulosa asetat dengan proses asetilasi dengan asetat anhidrida. Selulosa asetat adalah turunan selulosa berupa ester selulosa yang banyak diaplikasikan untuk pembuatan membran. Sebelum dilakukan asetilasi, selulosa diaktivasi dengan asetat glasial selama 1 jam. Selanjutnya, ditambahkan asetat anhidrida sebagai pereaksi utama untuk mengubah selulosa menjadi selulosa asetat. Proses ini bertujuan untuk menggantikan gugus hidroksil (-OH) pada selulosa

dengan gugus asetil (-$COCH_3$), sehingga terbentuk selulosa asetat yang memiliki sifat ester yang lebih stabil dan reaktif (Syamsu, 2014). Pemanasan yang dilakukan hanya dalam rentang suhu 50-55 °C, hal ini dilakukan agar reaksi berlangsung dengan efisiensi yang tinggi, sehingga dapat meningkatkan hasil asetilasi dan menghasilkan selulosa asetat yang berkualitas tinggi.

Zeolit alam Bayah berupa bongkahan dihancurkan, digiling, dan diayak menggunakan ayakan 250 mesh. Sebagai bahan pengisi membran, dilakukan proses aktivasi dengan asam sulfat 0.5 M. Aktivasi zeolit dengan asam sulfat memberikan peningkatan luas permukaan untuk adsorpsi. Pada zeolit terdapat gugus Si-OH yang dapat mengikat kation Fe sehingga dilakukannya kalsinasi pada zeolit untuk menguatkan struktur zeolit serta menghilangkan pengotor dan kadar air pada zeolit (Oktaviani et al., 2019).

Pembuatan membran SA/zeolit dilakukan dengan teknik inversi fase. Penambahan zat aditif berupa PEG dengan variasi 10, 20, dan 30% terhadap selulosa yang dibuat. Membran setiap variasi dilakukan analisis SEM untuk mengetahui morfologi pada setiap membran seperti pada Gambar 3.



Gambar 3. Morfologi membran SA/zeolit variasi (a) PEG 10% (b) PEG 20% dan (c) PEG 30% (1000x) (note: 1 adalah SA yang dibuat, 2 adalah zeolit , dan 3 adalah SA komersial terkomposit dengan membran

Hasil uji SEM perbesaran 1000× memberikan gambaran perbedaan pada morfologi setiap membran dengan variasi masing-masing. Pada PEG 10%, permukaan membran relatif halus dan belum terbentuk pori-pori. Pada PEG 20%, permukaan membran lebih kasar dibandingkan dengan membran variasi PEG 10% dan pori-pori yang terbentuk sedikit. Pada PEG 30%, permukaan membran menunjukkan tekstur yang kasar dibandingkan variasi lainnya dan pori yang dihasilkan lebih banyak. Diameter pori yang didapat sebesar 0,883 µm. Hal ini sesuai dengan pengujian penyaringan membran dengan darah. Membran dengan variasi PEG 30% mendapatkan nilai fluks yang besar dibandingkan dengan variasi lainnya. Fluks pada variasi lain sangatlah lambat, maka untuk pengujian selanjutnya difokuskan hanya pada variasi PEG 30%.

Penambahan PEG pada pembuatan membran mempengaruhi elastisitas membran. Secara fisik, membran variasi PEG 30% ini cukup kaku dibandingkan dengan membran variasi lain. PEG sebagai porogen membran, membentuk pori yang semakin banyak seiring penambahan PEG, sehingga membuat ruang-ruang dalam membran dan menyebabkan struktur membran lebih renggang serta kekuatan tarik melemah (Nurratri et al., 2020).

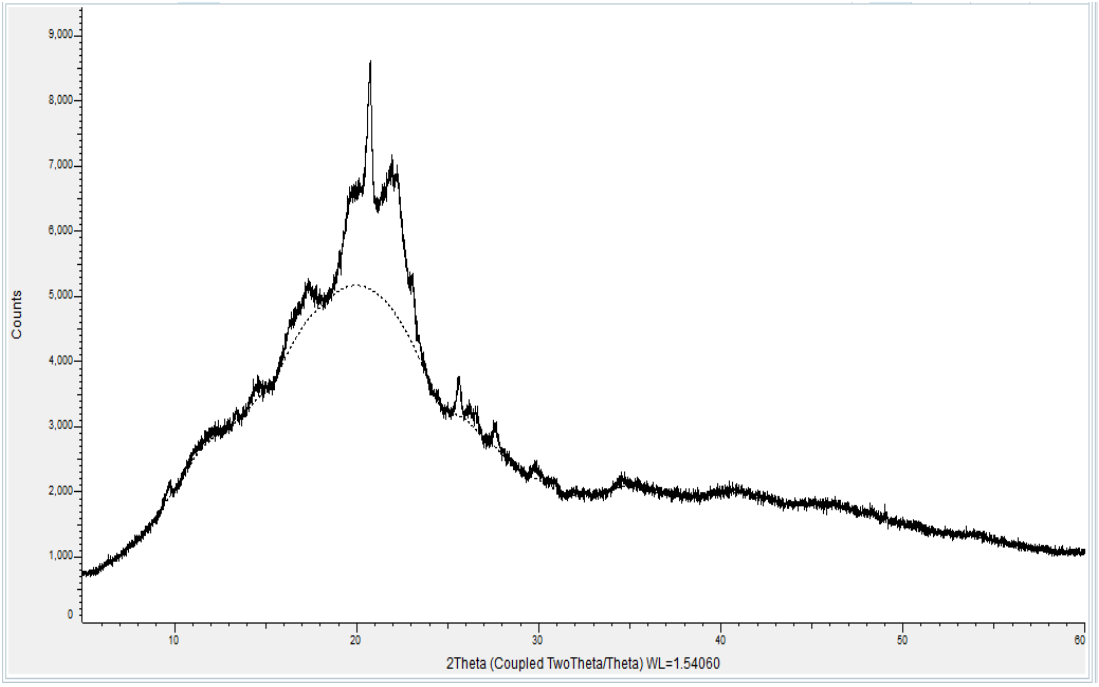
Adapun uji XRD membran variasi PEG 30% mendapat hasil pada Gambar 4. Berdasarkan hasil perhitungan dari data yang diperoleh pada uji XRD, kristalinitas MNK sebesar 99,5%, dan ukuran kristalin 143,9 nm dengan jumlah puncak sebanyak 173 puncak. Paduan antara selulosa asetat dengan zeolit pada MNK, memberikan kristalinitas membran yang lebih baik, di mana zeolit dapat terdispersi dengan baik dalam membran SA sebagai pengisi (Jodeh et al., 2021). Zeolit berpengaruh pada kristalinitas membran. Terutama zeolit yang sudah terkalsinasi. Zeolit terkalsinasi memiliki kristalinitas yang baik sehingga meningkatkan kristalinitas keseluruhan membran. Terlihat puncak yang sangat tajam di sekitar sudut difraksi 20° menunjukkan adanya fase kristalin dalam membran dan daerah amorf disekitar 30° sampai 60°. Membran memiliki sifat mekanis yang baik terbukti pada saat penyaringan dengan darah membran tidak rusak.

3.2 Pengujian Membran

Selama pengujian penyaringan, dapat diketahui berapa banyak volume darah yang tersaring dan dengan beberapa data seperti luas permukaan membran dan waktu penyaringan. Nilai fluks setiap membran dihitung menggunakan rumus (1) (Fransiska et al., 2023).

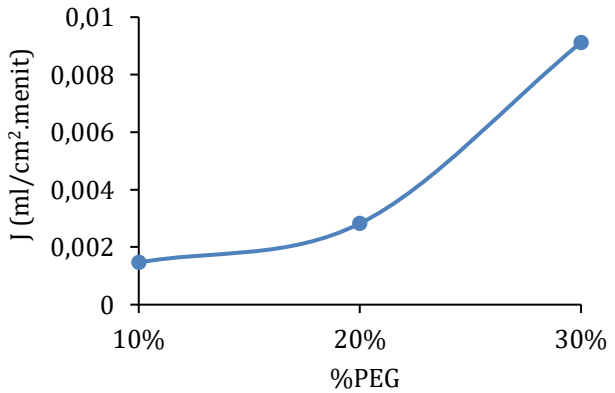
$$J = V/A.t \quad (1)$$

dimana J adalah nilai fluks (mL/cm^2.menit), A adalah luas permukaan (cm^2), V adalah volume tersaring (mL), dan t adalah waktu penyaringan (menit).



Gambar 4. Grafik hasil uji XRD pada membran variasi PEG 30%

Pada Gambar 5 menunjukkan hasil uji fluks yang dilakukan pada membran yang dibuat dalam satuan mL/cm^2.menit pada setiap variasi %PEG. PEG merupakan zat aditif yang digunakan dalam pembuatan membran untuk mempengaruhi sifat porositas dan kinerja membran. Pada PEG 10% didapatkan nilai fluks yang sangat kecil dan terjadi peningkatan nilai fluks seiring dengan penambahan konsentrasi PEG. Hal ini sesuai dengan penelitian Fransiska et al. (2023), peningkatan konsentrasi PEG memberikan pengaruh terhadap porositas membran; semakin besar konsentrasi PEG maka pori pada membran semakin banyak yang menyebabkan nilai fluks semakin besar. Nilai fluks PEG 30% diperoleh 0,0091 mL/cm^2.menit.



Gambar 5. Hasil uji fluks membran

Pada penelitian ini, berfokus pada pengurangan kandungan zat besi pada darah yang diuji. Uji AAS dilakukan untuk analisis kandungan zat besi yang tersaring oleh membran. Kandungan zat besi dalam larutan sebelum dan sesudah penyaringan dapat dianalisis, sehingga efisiensi penyaringan dapat diketahui. Berikut hasil pengujian AAS yang dilakukan terhadap darah sebelum filtrasi dan sesudah filtrasi pada membran variasi PEG 30%.

Tabel 1. Hasil uji AAS kandungan zat besi pada membran variasi PEG 30%

Sampel Darah	Kandungan Fe (mg/L)
Sebelum Penyaringan	0,46
Sesudah Penyaringan	0,43

Pada Tabel 1 diketahui kandungan zat besi dalam darah menurun sekitar 0,03 mg/L sehingga penurunan kandungan zat besi sekitar 6,5%. Hal ini dapat membuktikan membran berhasil mengikat kandungan zat besi dalam darah. Namun, hasil yang diperoleh menunjukkan penyaringan pada membran masih menghasilkan penurunan kandungan zat besi yang kecil. Hal ini dapat terjadi karena jumlah zeolit yang sedikit dalam membran. Penambahan zeolit berpengaruh terhadap membran selulosa asetat sebagai penyerap molekul yang berukuran kecil seperti zat besi dalam darah. Ion anion pada zeolit akan mengikat kation Fe dalam darah. Zeolit berperan sebagai adsorben melalui pengikatan atau penyerapan senyawa dalam larutan yang terjadi akibat daya tarik-menarik elektrostatik antar partikel (Khimayah, 2015).

Sifat zeolit yang dapat mengikat dan menyerap senyawa lain memungkinkan terserapnya kandungan zat lain pada darah saat penyaringan terutama seperti magnesium, kalsium, dan lainnya. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai keamanan darah setelah dilakukannya penyaringan menggunakan membran ini agar sesuai dengan standarisasi medis yang berlaku.

4. KESIMPULAN

Pembuatan membran penyaring SA/zeolit menghasilkan nilai fluks sebesar 0,0091 mL/cm^2.menit pada variasi PEG 30%. Membran memiliki diameter pori sebesar 0,883 µm dan kristalinitas 99,5%. Pelarut optimal menggunakan aseton dan zat aditif PEG 30% dengan penurunan kandungan Fe dalam darah sebanyak 0,03 mg/L (6,5%). Perlu pengembangan selanjutnya mengenai jumlah zeolit yang efektif terhadap penyaringan zat besi dalam darah dan optimasi kembali ukuran pori sehingga fluks yang didapat tinggi dengan penurunan Fe yang tinggi.

5. UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kepada Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset, dan Teknologi Republik Indonesia yang telah mendanai PKM-RE ini sehingga dapat berjalan dengan baik.

6. DAFTAR PUSTAKA

Ali, H., Muhyi, A., dan Riastiti, Y. (2021). Hubungan usia, kadar hemoglobin pretransfusi dan lama sakit terhadap kualitas hidup anak thalasemia di Samarinda. Jurnal Sains dan Kesehatan. 3(4). p-ISSN:2303-0267, e-ISSN:2407-6082.

Arfie, N. Zulkarnaen, B. S., dan Sudarmanto. (2022). Efektivitas dari deferasirox pasien thalasemia mayor: Artikel review. Jurnal Sains dan Kesehatan. 3(4). p-ISSN:2303-0267, e-ISSN:2407-6082.

Astika I. M. (2020). Alfaselulosa kapuk randu sebagai bahan baku propellant amunisi. Surabaya, Brillian Internasional.

Yuliati, S., & Junaidi, R. (2023). Membran selulosa asetat berbasis nata de coco ditinjau dari pengaruh penambahan zat aditif polyethylene glycol (PEG) terhadap permeabilitas (fluks). Jurnal Serambi Engineering, 8(4), 7078–7085. https://doi.org/10.32672/jse.v8i4.6739

Hakiki, M., Makiyi, M., Nuryoto, N., Rahmayetty, R., Kustiningsih, I., & Kurniawan, T. (2021). Pengaruh lokasi zeolit alam bayah terhadap adsorpsi amonium: Studi kinetika dan kesetimbangan. Jurnal Teknologi Lingkungan. 22 (1):018–028.

Hiwrale, A., Bharati, S., Pingale, P., & Rajput, A. (2023). Nanofibers: A current era in drug delivery system. Heliyon. https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e18917

Istinanda, R., Harlia, H., & Alimuddin, A. H. (2018). Sintesis dan karakterisasi komposit zeolit-selulosa dari serat daun nanas (Ananas comosus) sebagai bahan pengisi cat tembok emulsi akrilik. Jurnal Kimia Khatulistiwa, 7(3), 1–9.

Poon, J. J., Cheok, Y. C., Tan, M. C. (2023). The Production of cellulose acetate from kapok cellulose with different acetylation conditions. Research Square. https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-2786657/v1

Jodeh, S., Erman, I., Hamed, O., Massad, Y., Hanbali, G., Samhan, S., Serdaroğlu, G. (2021). Zeolite/cellulose acetate (ZCA) in blend fiber for adsorption of erythromycin residue from pharmaceutical wastewater: Experimental and theoretical study. Frontiers in Chemistry, 9. https://doi.org/10.3389/fchem.2021.709600

Khimayah, K. (2015). Variasi diameter zeolit untuk menurunkan kadar besi (Fe) pada air sumur gali (studi kasus pada sumur gali desa Lodoyong kecamatan Ambarawa kabupaten Semarang). Jurnal Kesehatan Masyarakat, 3(1), 523-532.

Kramar, A., & González-Benito, F. J. (2022). Cellulose-based nanofibers processing techniques and methods based on bottom-up approach—a review. Polymers, 14(2), 286. https://doi.org/10.3390/polym14020286

Mardiyati, M., Rizkiansyah, R. R., Steven, S., Basuki, A., & Suratman, R. (2018). Serat kapuk sebagai bahan baku pembuatan mikrokristalin selulosa. Jurnal Sains Materi Indonesia, 17(4), 172-176.

Nurratri, A. M., Khabibi, K., Lusiana, R. A., Haris, A., & Nuryanto, R. (2020). Pembuatan dan karakterisasi membran paduan kitosan-polietilenglikol 6000. Media Bina Ilmiah, 14(9), 3261-3270.

Nurbahiyah, E., & Maulina, D. (2023). Profil penggunaan obat kelasi besi pada pasien talasemia poli anak di rumah sakit X Jatinegara. Indonesian Journal of Health Science. 3(2):149–154.

Oktaviani, R., Hindryawati, N., & Panggabean, A. S. (2019). Modification and characterization of tasikmalaya natural zeolites with Fe_2O_3. Jurnal Atomik, 4(1), 30-35.

Raja P (2016). Pemanfaatan membran selulosa asetat termodifikasi mikro zeolit alam untuk filtrasi air sungai. Jurnal Saintia, 16(2):37-42.

Sangalang, R. H. (2021). Kapok fiber-structure, characteristics and applications: a review. Oriental Journal of Chemistry, 37(3), 513-523.

Suhendi, E., Wibowo, A., Lestari, T., & Kurniawan, T. (2020). Effect of acid concentration on the activation of bayah natural zeolite for palm kernel shell pyrolysis application. Reaktor, 20(3), 109-116.

Suhada, R. I., & Artini, D. (2022). Trend perubahan kadar hemoglobin pada pasien thalasemia dengan pemberian packed red cells di RSUD Kabupaten Sleman. Jurnal Analis Kesehatan Kendari, 5(1), 24-29.

Syamsu, K., & Kuryani, T. (2014). Pembuatan biofilm selulosa asetat dari selulosa mikrobial nata de cassava. E-jurnal Agro-Industri Indonesia, 3(1), 127–133.