

PEMBUATAN DAN KARAKTERISASI MEMBRAN ANORGANIK MIKROFILTRASI BERBAHAN BAKU AMPO

S.Susilowati^{1*}, Tasya Agneta Pristanti¹, Elya Nur Maulida¹, Novel Karaman^{1,2}, Erwan Adi Saputro^{1,2}

¹Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik dan Sains
Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Jawa Timur

²Jurusan Magister Ilmu Lingkungan, Fakultas Teknik dan Sains, Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Jawa Timur, Jl. Rungkut Madya No.1 Gn. Anyar, Surabaya, 60294.

*Email: susilowati.tk@upnjatim.ac.id

Abstract

Membrane technology is an important industrial separation method. Inorganic membranes are superior to organic membranes. Ampo is a type of clay that can be used as raw material because it has Si and Al elements for the manufacture of microfiltration inorganic membranes. The purpose of this study was to determine the characteristics of the membrane and the effect of additives and sintering temperature on membrane characteristics. The method used is the sintering method, with temperature variations namely (°C): 800, 850, 900, 950, 1000 and variations of additives from rice flour namely (%): 10, 20, 30, 40 and 50. The best results are at 50% additive variation and 800 °C sintering temperature with porosity value of 50.9375% and permeability of 3.2858E-06 ml.cm/cm².s.Pa. The results of SEM-EDX, BET and XRD analysis show that the membrane has a surface area of 76.748 m²/g and an average pore size of 0.0455 μm with the most dominant composition of Si and Al so that the membrane is classified as a microfiltration inorganic membrane.

Keywords: Ampo, Inorganic, Membrane, Microfiltration, Sintering

Abstrak

Teknologi membran merupakan metode dalam proses pemisahan yang penting dalam industri. Membran anorganik lebih unggul dibanding dengan membran organik. Ampo adalah sejenis tanah liat yang bisa dipakai sebagai bahan baku karena memiliki unsur Si dan Al untuk pembuatan membran anorganik mikrofiltrasi. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui karakteristik membran dan pengaruh aditif serta suhu sintering terhadap karakteristik membran. Metode yang digunakan adalah metode sintering, dengan variasi suhu yaitu (°C): 800, 850, 900, 950, 1000 dan variasi zat aditif dari tepung beras yaitu (%) : 10, 20, 30, 40 dan 50. Hasil terbaik pada variasi zat aditif 50 % dan suhu sintering 800 °C dengan nilai porositas 50,9375% dan permeabilitas 3,2858E-06 ml.cm/cm².s.Pa. Hasil analisis SEM-EDX, BET dan XRD menunjukkan membran memiliki luas permukaan 76,748 m²/g dan rata-rata ukuran pori 0,0455 μm dengan komposisi paling dominan Si dan Al sehingga membran tergolong dalam membran anorganik mikrofiltrasi.

Kata kunci: Ampo, Anorganik, Membran, Mikrofiltrasi, Sintering

1. PENDAHULUAN

Teknologi membran menjadi salah satu cara atau metode yang sering digunakan dalam proses pemisahan di industri karena memiliki keunggulan yaitu tidak membutuhkan zat kimia tambahan dan kebutuhan energi sangat minimum. Dibandingkan dengan membran organik, membran anorganik memiliki beberapa kelebihan seperti memiliki stabilitas yang baik pada temperatur yang tinggi, pelarut organik, dan bahan asam maupun basa (Saputra dan Tjahjono, 2014). Salah satu material yang dapat digunakan sebagai bahan pembuat membran anorganik adalah tanah liat (Rahayu, 2017).

Salah satu tanah liat yang jumlahnya melimpah dan mudah diperoleh adalah tanah liat Ampo.

Berdasarkan uji kandungan dengan metode gravimetri diketahui bahwa Ampo memiliki kandungan SiO₂ sebesar 47,16% dan Al₂O₃ sebesar 23,13% (BSPJI, 2024). Adanya kandungan SiO₂ dan Al₂O₃ yang cukup melimpah pada Ampo menjadikan bahan anorganik ini dipilih sebagai bahan baku dalam pembuatan membran. Berdasarkan jenis prosesnya membran dibagi menjadi mikrofiltrasi dengan ukuran pori 0,02-10 μm, ultrafiltrasi dengan ukuran 0,01-1 μm, elektrodialisis, reverse osmosis, nanofiltrasi dengan ukuran pori 2-5 nm, dan membran cair

(Redjeki, 2023). Ukuran pori tersebut yang akan dijadikan sebagai standar dalam pembuatan membran anorganik mikrofiltrasi.

Pembuatan membran anorganik telah ada pada penelitian sebelumnya dengan berbagai bahan. Menurut penelitian Sari dan Sutrisno (2018), tanah liat yang telah mengalami proses pembakaran atau disebut keramik merupakan membran yang memiliki efisiensi lebih besar dalam proses mikrofiltrasi, ultrafiltrasi dan penyaringan gas. Meninjau dari penelitian Rahayu (2017), membran keramik dengan komposisi zat aditif berupa tepung beras 45% dengan komposisi badan keramik 55% memiliki permeabilitas yang tinggi. Menurut Siagian dan Hutabalian (2012), keramik berpori berbasis clay dan kaolin alam dengan aditif abu sekam padi dengan teknik sintering dimulai dari suhu 900°C sampai 1100°C menunjukkan bahwa pada suhu sintering 900°C dengan variasi abu sekam padi yang sama memiliki nilai porositas tertinggi.

Berdasarkan penelitian terdahulu tersebut maka penelitian ini akan dilakukan dengan bahan baku tanah liat ampo dan tepung beras sebagai zat aditif serta proses pembuatan membran menggunakan metode sintering. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui struktur dan karakteristik membran anorganik ampo serta untuk mengetahui pengaruh aditif dan suhu sintering terhadap karakteristik membran. Karakteristik membran anorganik ampo diperoleh dari uji porositas, permeabilitas, uji *Brunauer-Emmett-Teller* (BET) untuk mengetahui luas permukaan dari bahan baku ampo, *Scanning Electron Microscope- Energy Dispersive X-Ray* (SEM-EDX) untuk mengidentifikasi morfologi serta kandungan unsur yang terdapat pada membran, uji *Brunauer Emmet Teller* (BET) untuk mengetahui luas permukaan dan ukuran pori membran, uji *X-Ray diffraction* (XRD) untuk mengetahui jenis mineral penyusun dan struktur kristal membran.

2. METODOLOGI

2.1 Bahan dan Alat

Bahan yang digunakan dalam proses pembuatan membran anorganik mikrofiltrasi adalah Ampo, tepung beras, asam sitrat, PVA (*polyvinyl alcohol*), dan aquades. Alat utama yang digunakan adalah alat cetak membran, oven dan *furnace*.

2.2 Prosedur Penelitian

2.2.1 Proses Aktivasi Ampo

Proses aktivasi bahan baku dimulai dengan menghancurkan 200 gram ampo kemudian diayak pada *screener* 60 mesh. Selanjutnya mencampurkan ampo dan larutan asam sitrat 1N 400 ml pada kecepatan pengadukan 300 rpm selama 2 jam dengan *magnetic stirrer*. Lalu, memisahkan ampo dengan filtratnya menggunakan kertas saring, dan mengeringkan ampo pada oven dengan temperatur 100°C selama 2 jam. Selanjutnya, Ampo yang telah teraktivasi dan kering dihancurkan dengan *crusher* dan diayak kembali dengan ayakan 60 mesh.

2.2.2 Proses Pembuatan Membran

Proses pembuatan membran anorganik mikrofiltrasi diawali proses pencampuran 25 gram ampo teraktivasi dengan tepung beras sesuai variasi (10; 20; 30; 40; 50%). Proses pencampuran disertai dengan penambahan PVA secara bertahap hingga diperoleh tekstur campuran yang lembut. Selanjutnya membran dicetak dengan ukuran 2cm x 2cm dan ketebalan 0,6 cm. Hasil cetakan didiamkan selama 12 jam di udara terbuka untuk proses *aging*. Kemudian membran dikeringkan didalam oven dengan suhu 100°C selama 1 jam. Tahap terakhir yaitu proses sintering pada *furnace*. Proses ini dilakukan dengan laju pemanasan sebesar 5°C/menit secara bertahap. Suhu awal sebesar 250°C selama 2 jam, dilanjutkan pada suhu 550°C selama 1,5 jam, dan terakhir dengan suhu sesuai variasi (800; 850; 900; 950; 1000°C) selama 1 jam.

2.3 Prosedur Analisa

2.3.1 Proses Uji Porositas

Uji porositas dilakukan dengan metode perendaman pada air biasa hingga terendam seluruhnya selama 6 jam. Nilai porositas dapat dihitung dengan persamaan berikut :

$$\%Porositas = \frac{m. sat (gr) - m. dry (gr)}{\rho_{H_2O} \times V} \times 100\% \quad (1)$$

Keterangan :

m.sat : Massa basah (gr)

m.dry : Massa kering (gr)

ρ_{H_2O} : Densitas air (gr/cm³)

V : Volume membran (cm³)

(Slamet dkk., 2023)

2.3.2 Proses Uji Permeabilitas

Uji permeabilitas membran anorganik mikrofiltrasi ini dilakukan dengan uji volumetrik menggunakan gas nitrogen. Permeabilitas membran dapat dihitung dengan persamaan berikut :

$$Permeabilitas = \frac{q \cdot l}{(P - P_o) \cdot A} \quad (2)$$

Keterangan :

- P_o = Tekanan lingkungan (Pa)
 q = Laju aliran volume (ml/s)
 l = Ketebalan membran (cm)
 P = Tekanan gas (Pa)
 A = Luas permukaan membran (cm²)
 (Obada dkk., 2017)

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Hasil Analisis Bahan Baku

3.1.1 Analisis Kandungan Bahan Baku

Bahan baku ampo dianalisis kandungan SiO₂ dan Al₂O₃ nya dengan metode gravimetri dan diperoleh hasil bahwa pada ampo memiliki kandungan SiO₂ sebesar 47,16% dan Al₂O₃ sebesar 23,13% (BSPJI, 2024). Kandungan ini membuat ampo dapat digunakan sebagai bahan baku dalam pembuatan membran anorganik mikrofiltrasi dengan metode sintering.

3.1.2 Analisis Brunauer–Emmett–Teller(BET) Bahan Baku

Aktivasi ampo dilakukan dengan tujuan untuk melarutkan pengotor yang menutupi pori-pori ampo sehingga luas permukaan ampo akan meningkat. Berdasarkan analisis yang telah dilakukan diketahui bahwa luas permukaan ampo meningkat dari sebelum aktivasi adalah 170,752 m²/g sedangkan setelah aktivasi adalah 202,123 m²/g. Menurut Udyani dkk. (2010) kenaikan luas permukaan disebabkan oleh berkurangnya H₂O diantara struktur zeolit akibat pemanasan dan berkurangnya zat pengotor karena perendaman dengan menggunakan asam. Dengan demikian, diketahui bahwa proses aktivasi ampo yang dilakukan pada penelitian ini mampu meningkatkan luas permukaan tanah liat ampo.

3.2 Hasil Analisis Karakterisasi Membran

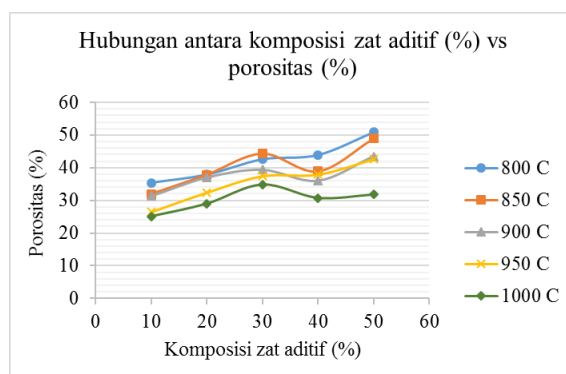
3.2.1 Uji Porositas

Uji porositas menunjukkan terbentuknya pori dalam membran akibat terbakarnya zat aditif, rongga pori yang terbentuk pada

membran akan diisi oleh molekul air selama perendaman.

Tabel 1. Hasil Uji Porositas Membran

Suhu (°C)	Komposisi zat aditif (%)	Selisih (gr)	porositas (%)
800	10	0,8487	35,3625
	20	0,9089	37,8708
	30	1,0223	42,5958
	40	1,0542	43,9250
	50	1,2225	50,9375
850	10	0,7664	31,9333
	20	0,9084	37,8500
	30	1,0643	44,3458
	40	0,9326	38,8583
	50	1,1744	48,9333
900	10	0,7508	31,2833
	20	0,8878	36,9917
	30	0,9448	39,3667
	40	0,8649	36,0375
	50	1,0434	43,4750
950	10	0,6343	26,4292
	20	0,7764	32,3500
	30	0,8972	37,3833
	40	0,9089	37,8708
	50	1,0204	42,5167
1000	10	0,6035	25,1458
	20	0,6962	29,0083
	30	0,8362	34,8417
	40	0,7386	30,7750
	50	0,7629	31,7875



Gambar 1. Hubungan Antara Komposisi Zat Aditif (%) dengan Nilai % Porositas pada Masing-Masing Komposisi Zat Aditif dan Suhu

Berdasarkan hasil uji porositas diketahui bahwa nilai porositas dari membran mikrofiltrasi dengan penambahan komposisi 50% zat aditif pada suhu 800°C, memiliki nilai porositas yang paling baik yaitu sebesar

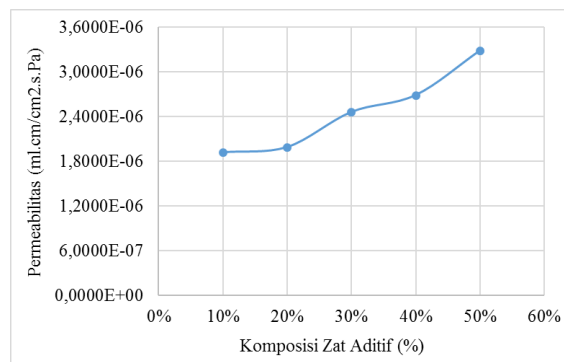
50,9375% sedangkan membran dengan penambahan komposisi 10% zat aditif pada suhu 1000°C memiliki nilai porositas terendah yaitu sebesar 25,1458%. Hal ini sesuai dengan hasil penelitian dari Rahayu (2017), semakin besar komposisi aditif yang ditambahkan maka porositasnya akan semakin besar. Membran dengan suhu sintering 800°C memiliki nilai porositas paling tinggi, sedangkan pada membran dengan suhu sintering 1000°C memiliki nilai porositas yang paling rendah. Hal ini sesuai dengan penelitian Sulisty (2018), dimana semakin tinggi suhu sintering maka dapat memperkecil nilai porositas membran karena suhu mengakibatkan ukuran pori yang dihasilkan semakin kecil. Namun, terdapat penurunan nilai porositas pada komposisi zat aditif 40% dengan suhu 850°C, 900°C, dan 1000°C pada percobaan. Penyimpangan ini dapat terjadi karena peningkatan tekanan saat proses pencetakan. Menurut Gwon dkk. (2024), peningkatan tekanan selama pencetakan menyebabkan peningkatan kerapatan massal, dimana terjadi penataan ulang bahan pengisi/partikel zat aditif mengisi celah-celah yang seharusnya membentuk pori dan mengakibatkan variasi dalam bentuk dan ukuran pori-pori yang ada. Oleh karena itu, membran mengalami peningkatan kerapatan dan penurunan nilai porositas.

3.2.2 Uji Permeabilitas

Berdasarkan hasil analisis porositas diketahui membran dengan nilai porositas terbaik adalah membran dengan suhu sintering 800°C. Maka dari itu, untuk analisis permeabilitas dilakukan terhadap membran tersebut dengan metode volumetrik sehingga diperoleh grafik sebagai berikut.

Tabel 1. Hasil Uji Permeabilitas Membran

Komposisi zat aditif (%)	Permeabilitas (ml.cm/cm ² .s.Pa)
10	1,9186E-06
20	1,9890E-06
30	2,4602E-06
40	2,6868E-06
50	3,2858E-06

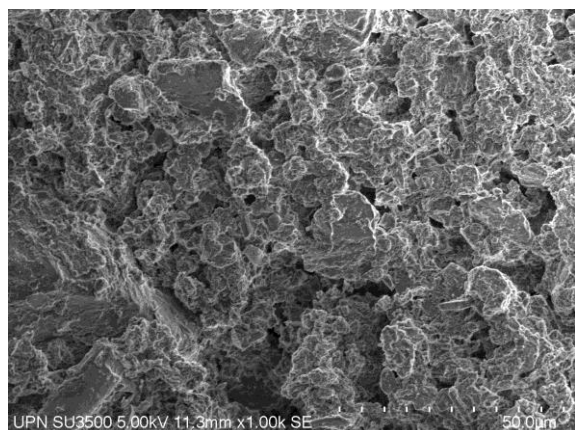


Gambar 1. Hubungan Antara Persentase Zat Aditif (%) dan Permeabilitas (ml.cm/cm².s.Pa) pada Membran Anorganik dengan Suhu Sintering 800°C

Analisis permeabilitas dilakukan pada suhu ruang dan gas nitrogen yang dialirkan dari tabung gas dengan tekanan 5 bar. Gas yang berhasil menembus membran ditandai dengan naiknya gelembung pada *bubble flow* meter dan waktu kenaikan digunakan sebagai penentu permeabilitas membran. Berdasarkan tabel 1 diketahui nilai permeabilitas membran pada suhu sintering 800°C mengalami peningkatan seiring dengan bertambahnya persentase zat aditif yang ditambahkan. Membran dengan komposisi zat aditif 10% memiliki nilai permeabilitas paling rendah yaitu 1,9186E-06 ml.cm/cm².s.Pa dan membran dengan komposisi zat aditif 50% memiliki nilai permeabilitas paling besar yaitu 3,2858E-06 ml.cm/cm².s.Pa. Menurut Redjeki (2023), membran yang baik adalah membran yang mempunyai permeabilitas yang besar, sehingga dapat diketahui bahwa membran dengan komposisi zat aditif 50% adalah membran terbaik. Besarnya ukuran kecepatan suatu spesi untuk melewati membran dipengaruhi oleh komposisi penambahan zat aditif, karena hal tersebut akan menentukan seberapa banyak jumlah pori yang terbentuk akibat sintering (Rahayu, 2017). Sehingga semakin banyak jumlah pori yang terbentuk maka semakin efektif kerja membran.

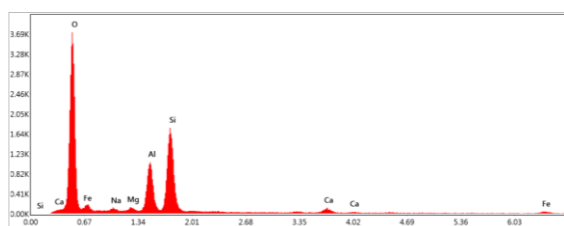
3.2.3 Analisis SEM-EDX

Berdasarkan hasil dari uji analisis porositas dan permeabilitas diperoleh sampel terbaik yakni membran dengan komposisi zat aditif 50% pada suhu 800°C untuk selanjutnya dilakukan karakterisasi dengan SEM-EDX, BET dan XRD.



Gambar 4. Foto SEM permukaan membran komposisi zat aditif 50% pada suhu 800°C perbesaran 1000 kali

Dari hasil uji SEM dengan 1000 kali dapat dilihat bahwa permukaan membran tidak rata dan terdapat banyak pori pada membran yang tersebar secara acak dan rapat. Morfologi membran ini dapat dipengaruhi oleh suhu sintering membran. Membran dengan ciri morfologi tersebut menunjukkan bahwa membran sesuai dengan membran mikrofiltrasi (Wu dkk., 2006). Analisis EDX juga untuk mengetahui kandungan unsur yang terdapat pada membran.



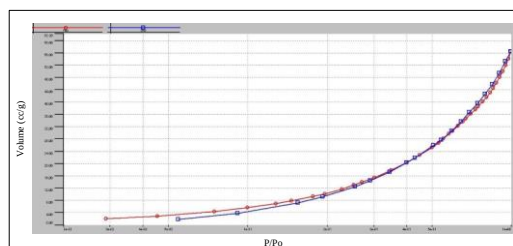
Gambar 4. Hasil EDX membran komposisi 50% suhu 800°C

Hasil EDX menunjukkan bahwa pada membran mengandung persentase O, Si dan Al yang dominan. Adanya unsur silika mampu membuat membran lebih hidrofobik sehingga menyebabkan daya adsorpsi permukaan membran terhadap air menurun. Kandungan silika dapat membentuk pori dalam membran karena adanya ikatan silika-oksigen antar molekul sehingga membentuk rantai panjang SiO_2 dan ikatan antara silika dengan oksigen pada gugus $-\text{OH}$ (Fitri dan Fitriana, 2020).

3.2.4 Analisis *Brenauer-Emmet-Teller* (BET)

Karakteristik membran berdasarkan analisis BET digunakan untuk mengetahui luas

permukaan dan ukuran pori yang terbentuk dan juga dilakukan analisis adsorpsi-desorpsi isothermal menggunakan nitrogen yang hasilnya dapat dilihat pada gambar berikut.

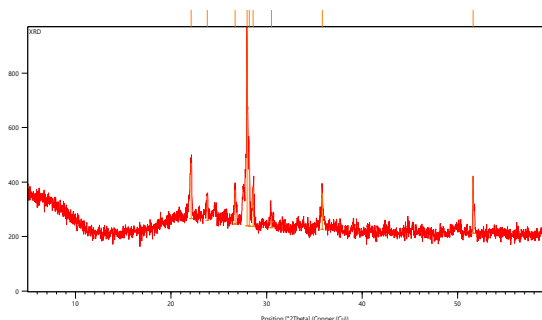


Gambar 5. Adsorpsi-desorpsi membran

Gambar 5 menunjukkan kurva adsorpsi-desorpsi dengan isothermal nitrogen pada 70,3K selama 132,3 menit untuk membran dengan zat aditif 50% dan suhu sintering 800°C. Berdasarkan pola adsorpsi-desorpsi isothermal nitrogen tersebut diketahui bahwa pada bagian macroporous terdapat hysteresis, hal ini disebabkan karena perbedaan ukuran pori antara bagian luar dan dalam. Luas permukaan membran yang diperoleh sebesar 76,748 m^2/g dan rata-rata ukuran pori sebesar 0,0455 μm . Berdasarkan ukuran pori tersebut dapat diketahui bahwa membran ini termasuk jenis membran mikrofiltrasi dengan standar ukuran pori membran yaitu antara 0,02-10 μm (Redjeki, 2023).

3.2.5 Analisis *X-Ray diffraction* (XRD)

Karakterisasi membran dengan difraksi sinar-X dilakukan untuk mengetahui jenis mineral penyusun membran anorganik yang ditunjukkan oleh munculnya puncak pada sudut 2θ dan tingkat kristalinitas struktur komponen penyusun membran keramik yang ditunjukkan oleh tinggi atau rendahnya intensitas puncak (Soleman, 2011).



Gambar 6. Hasil XRD Membran Anorganik komposisi 50% suhu 800°C

Berdasarkan hasil XRD terdapat adanya 4 puncak yang dominan. Puncak utama dengan intensitas 100% memiliki ketinggian 734.93 cts pada daerah 2θ 27.9421°. Puncak tersebut merupakan puncak dari mineral SiO₂ kuarsa, dimana kuarsa merupakan fasa kristal yang paling stabil pada suhu >875°C. Adapun puncak selanjutnya berada pada daerah 2θ 28.1743° dengan ketinggian 270.88 cts yang merupakan puncak dari mineral goethite dengan intensitas lebih rendah dari intensitas kuarsa yaitu 36.86%. Sehingga dapat diketahui bahwa pada membran anorganik ini mengandung mineral kuarsa sebagai komponen utama dan dominan. Hal ini sesuai dengan penelitian Darmayanti dkk. (2022), bahwa mineral kuarsa adalah mineral utama dalam membran anorganik dan cocok digunakan dalam proses filtrasi.

4. KESIMPULAN

Membran anorganik berbahan baku ampo yang dihasilkan dari penelitian ini memiliki struktur permukaan yang tidak rata dengan pori yang tersebar secara acak dan rapat. Membran terbaik diperoleh pada variasi zat aditif 50% pada suhu sintering 800°C dengan nilai porositas sebesar 50,9375% dan nilai permeabilitas sebesar 3,2858E-06 ml.cm/cm².s.Pa. Berdasarkan analisis SEM-EDX dan BET diperoleh morfologi membran yang tidak rata dengan luas permukaan sebesar 76,748 m²/g dan rata-rata ukuran pori 0,0455 µm serta membran dominan mengandung Si dan Al sehingga dapat diklasifikasikan sebagai membran anorganik mikrofiltrasi.

DAFTAR PUSTAKA

- BSPJI (2024) *Cetak Laporan Hasil Uji - Pelayanan Online*. Surabaya.
- Darmayanti, L., Putri, M. dan Edward (2022) "Membran Keramik Berbahan Dasar Tanah Liat dan Fly Ash untuk Penyisihan Warna dan Zat Organik pada Air Gambut," *Jurnal Rekayasa Sipil dan Lingkungan*, 6(1), pp. 1.
- Fitri, A.S. dan Fitriana, Y.A.N. (2020) "Analisis Senyawa Kimia pada Karbohidrat," *Sainteks*, 17(1), pp. 45.
- Gwon, S.U. dkk. (2024) "Effect of Pressure and Holding Time during Compression Molding on Mechanical Properties and Microstructure of Coke-Pitch Carbon Blocks," *Applied Sciences (Switzerland)*, 14(2).
- Obada, D.O. dkk. (2017) "Physico-mechanical and gas permeability characteristics of kaolin based ceramic membranes prepared with a new pore-forming agent," *Applied Clay Science*, pp. 175–183.
- Rahayu, I. (2017) "Preparation and Characterization of Ceramic Membrane with Variations of Rice Flour as Aditive for Microfiltration," *Sains dan Terapan Kimia*, 11(2), pp. 52–60.
- Redjeki, S. (2023) *Proses Desalinasi Dengan Membran*. Yogyakarta: Deepublish.
- Saputra, H. dan Tjahjono, E.W. (2014) "Pembuatan Dan Karakterisasi Membran Reaktor Zeolit Making And Characterization Of Zeolite Membrane Reactor," *M.P.I*, 8(1), pp. 11–16.
- Sari, S.F. dan Sutrisno, J. (2018) "Penurunan Total Coliform Pada Air Tanah Menggunakan Membran Keramik," *WAKTU: Jurnal Teknik UNIPA*, 16(1), pp. 30–38.
- Siagian, H. dan Hutabalian, D.M. (2012) "Studi Pembuatan Keramik Berpori Berbasis Clay Dan Kaolin Alam Dengan Aditif Abu Sekam Padi," *Jurnal Saintika*, 12(1), pp. 14–23.
- Slamet, S. dkk. (2023) "Karakterisasi Fisis Dan Unjuk Kerja Membran Keramik Berpori Untukaplikasi Teknologi Penjernih Air," *Momentum*, 19(2), pp. 161–167.
- Soleman, P. (2011) "Identifikasi Gugus Fungsi Dan Kandungan Mineral Lempung Pacitan Dengan Spektroskopi Infra Red (Ir) X-Ray Diffraction (Xrd)," *Photon: Jurnal Sain dan Kesehatan*, 2(1), pp. 31–35.
- Sulistyo (2018) "Dampak Proses Sintering Material Keramik pada Sifat Mekanik dan Dimensi Suatu Produk," *ROTASI*, 20(4), pp. 244–248.
- Udyani, K. dkk. (2010) "Pengaruh OH/Fe Pada Pembuatan Ampo Terpillar Besi Oksida Terhadap Penjerapan Deterjen Dalam Air," *Prosiding Seminar Nasional Teknik Kimia "Kejuangan"*, pp. 1–7.
- Wu, C., Zhang, S., Yang, D., Wei, J., dkk (2006) "Preparation, Characterization and Application in Wastewater Treatment on a Novel Thermal Stable Composite Membrane" *Journal of Membrane Science*, 276. pp. 236-245