

SINTESIS DAN UJI KINERJA MEMBRAN KOMPOSIT GEOPOLIMER BERBASIS FLY ASH BATUBARA – Al_2O_3 DENGAN METODE SLIP CASTING

Eny Apriyanti^{1*}, Agustien Zulaidah¹, R.TD Wisnu Broto², Sri Subekti³

1) Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Pandanaran Semarang

2) Program Studi Teknologi Rekayasa Kimia Industri, Departemen Teknologi
Industri Sekolah Vokasi, Universitas Diponegoro

3) Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik, Universitas Pandanaran Semarang

Email: enyapriyanti@unpand.ac.id , zagustien@unpand.ac.id, bek1_04@yahoo.com

Abstrak

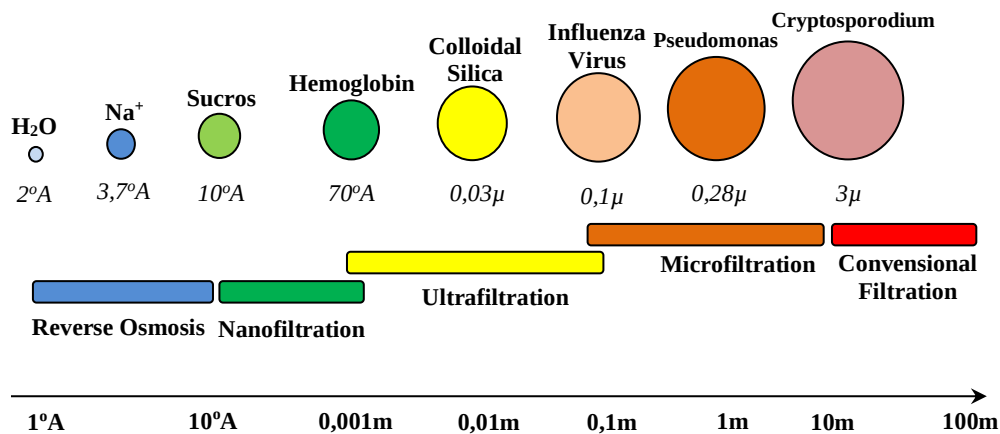
Membran komposit geopolimer dibuat dengan memanfaatkan kandungan silika dalam limbah fly ash batubara yang dikompositkan alumina (Al_2O_3) yang berfungsi sebagai material substitusi dan adsorben dalam proses filtrasi dengan membran. Penelitian ini bertujuan untuk membuat membran keramik berbasis fly ash menggunakan metode slip casting yang dikalsinasi dengan suhu 1200°C , selain itu, penelitian ini juga mengkaji pengaruh komposisi alumina dan fly ash terhadap sifat membran keramik serta menguji kinerja membran dengan karakterisasi menggunakan uji kuat tekan membran permeabilitas dan uji morfologi membran dengan SEM. Hasil penelitian menunjukkan kondisi terbaik melalui SEM, terlihat bahwa membran keramik memiliki permukaan kasar dengan pori-pori yang tidak teratur, berukuran antara $0,001\text{-}0,13\text{ }\mu\text{m}$. Uji mekanik membuktikan bahwa membran memiliki kuat tekan tertinggi sebesar $65,45\text{ kg/cm}^2$ dengan perlakuan sintering pada suhu 1200°C .

Kata kunci : alumina, *fly ash*, geopolimer, komposit, membran,

Pendahuluan

Perkembangan material keramik berpori mengalami peningkatan signifikan karena aplikasinya yang melibatkan berbagai bidang, terutama yang menekankan pada suhu tinggi. Salah satu material keramik yang saat ini dikembangkan adalah fly ash batubara, yang digunakan sebagai bahan baku dalam pembuatan membran keramik. Penggunaan fly ash batubara dipilih karena ketersediaan bahan yang melimpah, yang dapat menghasilkan membran keramik dengan harga yang lebih terjangkau (Yeongmi et al., 2017). Membran keramik memberikan sejumlah keuntungan dibandingkan dengan membran polimer. Keunggulan ini meliputi stabilitas pada suhu tinggi, kekuatan mekanis yang baik, dan sifat yang tidak mudah mengembang dalam air. Selain itu, membran keramik dapat mudah membentuk suspensi untuk melapisi membran sebagai supportnya (Dong et al., 2013). Pengembangan membran keramik menggunakan bahan alami seperti tanah lempung (clay), batubara, zeolit, dan bahan anorganik lainnya menjadi tren karena

biaya produksinya lebih terjangkau dan dapat diaplikasikan sebagai filter (Saffaj et al., 2017; I. Jedidi et al., 2009). Proses pemisahan membran terjadi dengan adanya gaya dorong tekanan ini dibedakan menjadi beberapa jenis proses berdasarkan ukuran porinya bisa dilihat pada gambar 1. Kinerja membran keramik, menurut Santoso et al. (2013) tidak hanya dipengaruhi oleh spesifikasi komposisi, tetapi juga oleh kondisi operasi, seperti tekanan, gradien konsentrasi, pH larutan inlet, dan suhu operasi, seperti tekanan, gradien konsentrasi, pH larutan inlet, dan suhu operasi.



Gambar 1. Distribusi ukuran pori membran gaya dorong tekanan (Susanto, 2011)

Keunggulan sifat mekanik, kimia, dan termal dari membran keramik membuatnya lebih diunggulkan dibandingkan dengan membran polimer. Abu terbang batubara (fly ash) merupakan limbah hasil pembakaran batubara yang mengandung berbagai komponen, terutama silikon dioksida (SiO₂) dan kalsium oksida (CaO) (Mufrodi et al., 2010). Meskipun fly ash batubara dianggap sebagai limbah berbahaya dan beracun, penelitian menunjukkan bahwa limbah padat ini dapat dimanfaatkan sebagai bahan dasar pembuatan membran keramik (Zhaoling et al., 2016). Komposisi fly ash batubara bervariasi tergantung pada sumber batubara yang dibakar, dan umumnya mengandung SiO₂ (52,0%), Al₂O₃ (31,9%), Fe₂O₃ (5%), CaO (3%), dan MgO (5%) (Kutchko et al., 2016), serta mineral-mineral minor seperti magnesium, sulfur, sodium, potasium, dan karbon (Chasri et al., 2015). Beberapa penelitian telah dilakukan untuk memanfaatkan fly ash sebagai bahan baku pada pembuatan membran keramik. Beberapa di antaranya mencakup substitusi zeolit dan clay untuk pengolahan air asam tambang (Nasir et al., 2013; Nasir et al., 2014), optimasi komposisi bahan dan suhu pembakaran pada montmorilonit untuk membran keramik (Zaharah et al., 2015), dan pemanfaatan fly ash batubara sebagai bahan membran keramik untuk pengolahan air gambut dengan optimasi komposisi berat fly ash dan clay pada suhu pembakaran 900°C (Chasri et al., 2015). Penggunaan fly ash batubara sebagai bahan membran keramik telah mendapat perhatian pada beberapa penelitian terdahulu. Beberapa studi telah mencoba mensubstitusi zeolit dan clay dengan fly ash batubara dalam pembuatan membran keramik untuk pengolahan air asam tambang (Nasir

et al., 2013; Nasir et al., 2014). Selain itu, penelitian juga telah memanfaatkan fly ash batubara sebagai bahan membran keramik untuk pengolahan air gambut dengan mengoptimalkan komposisi berat fly ash dan clay serta suhu pembakaran (Chasri et al., 2015). Beberapa penelitian lainnya mencoba memperbaiki performa membran keramik dengan menambahkan bahan aditif, seperti PEG 400, untuk meningkatkan ukuran pori membran dan nilai fluks (Suresh et al., 2016). Penambahan geomaterial fly ash batubara, seperti yang dilakukan oleh Bolloli et al. (2016), telah terbukti dapat meningkatkan kekuatan mekanik membran, menjadikannya lebih tahan terhadap retakan. Modifikasi pada pembuatan membran keramik fly ash- Al_2O_3 bertujuan untuk meningkatkan karakteristik dan performa membran. Dengan memodifikasi bahan aditif, penelitian ini mencoba menghasilkan membran dengan struktur yang seragam dan terdistribusi baik, serta memiliki kekuatan mekanik, stabilitas termal, dan karakteristik yang sesuai untuk aplikasi pemurnian air. Membran komposit merupakan kombinasi dari dua atau lebih material dengan karakteristik yang berbeda, disebut juga membran asimetrik yang terdiri dari lapisan berpori dan lapisan pendukung dengan material yang berbeda. Membran komposit dapat memberikan suatu kinerja yang optimal terhadap selektifitas, laju permeasi dan kestabilan termal (Barleany et al, 2011). Membran ini terdiri dari dua lapisan yaitu kulit yang tipis dan rapat dan lapisan pendukung berpori besar, membran asimetrik menghasilkan selektivitas yang lebih tinggi disebabkan oleh rapatnya lapisan atas membran kecepatan permeasi yang tinggi karena tipisnya membran dan tingginya laju filtrasi yang disebabkan mekanisme penyaringan (Hamid et al., 2008).

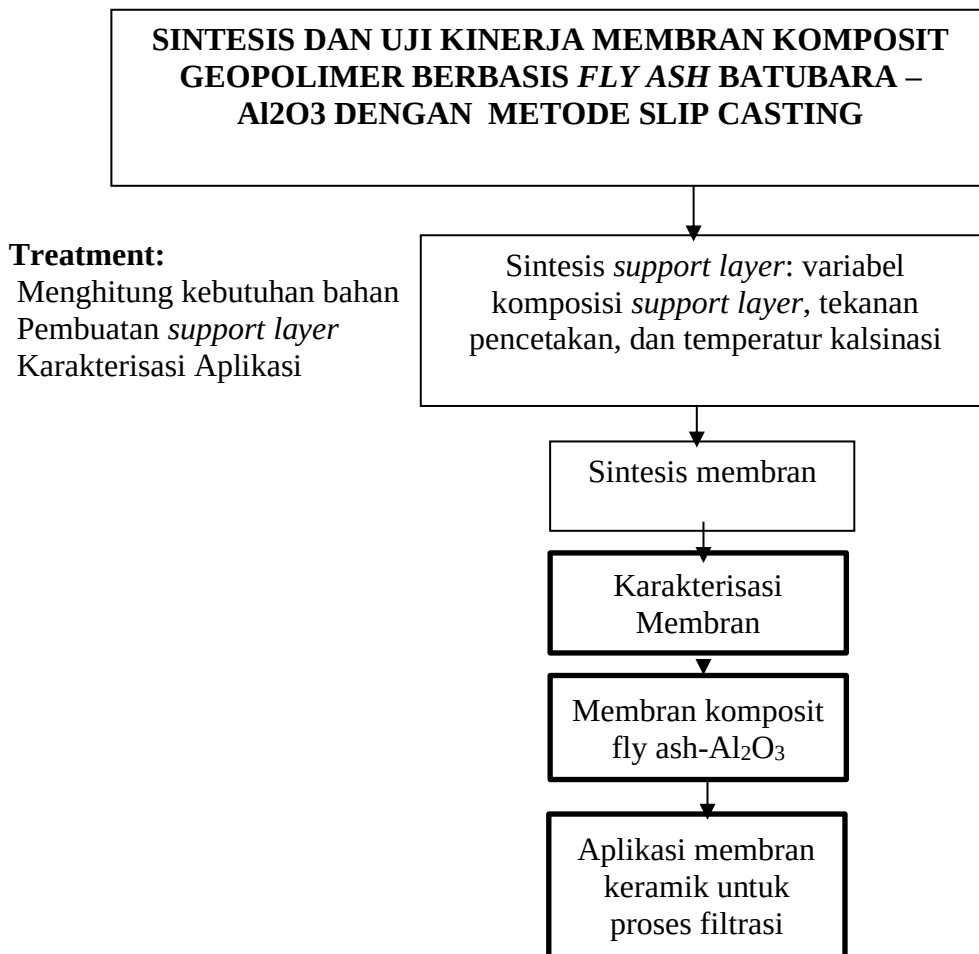
Metode Penelitian

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Teknik Kimia Universitas Pandanaran Jl.Banjarsari Barat No.1, Pedalangan, Kec.Banyumanik, Semarang. Variabel penelitian yang digunakan adalah komposisi bahan dan BM aditif dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini sesuai pada tabel 1:

Tabel 1. Bahan penelitian

Bahan/Chemical	Kemurnian	Supplier	Fungsi
Abu batubara			Bahan kerja
PES	$\geq 99,5 \%$	Merck	Bahan kerja
Alumina			Bahan kerja
Carboximethyl Cellulose 1	97%	Merck	Bahan kerja
Aquadest			Bahan kerja
Sodium Citrate			Bahan analisa
Magnesium sulfat	$\pm 95 \%$		Bahan analisa
PEG	99 %	Merck	Bahan analis

Diagram Alir Penelitian

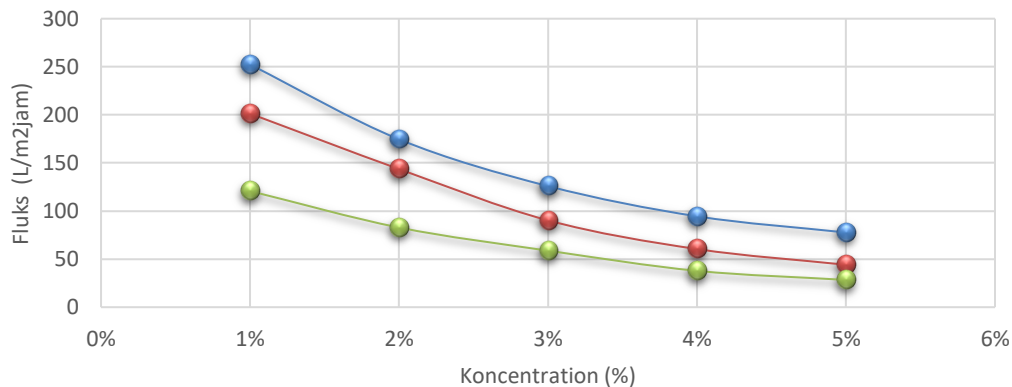


Membran komposit dibuat dengan cara pemisahan phase (phase separation) menggunakan air sebagai non solven, untuk membuat larutan PES, sejumlah polimer PES dilarutkan dalam seratus ml solven NMP (konsentrasi larutan 10%; 12%; 14%; 16%; 18%; 20%) dan diaduk sampai benar-benar larut. Campuran bahan yang sudah dicampur dicasting di atas permukaan substrat kaca ukuran 15cm x 25 cm dengan ketebalan 200 mikron. Hasil casting selanjutnya dimasukkan ke dalam bak yang berisi satu liter aquadest dan direndam selama satu jam. Membran yang dihasilkan dibilas dan direndam dalam aquadest selama 24 jam untuk menghilangkan solven yang tersisa. Selanjutnya membran dikeringkan pada suhu kamar selama 2 jam dan dilanjutkan dengan pengeringan dalam oven pada suhu 40°C selama 24 jam. Membran yang dihasilkan dilakukan karakterisasi membran dengan uji permeabilitas air, uji SEM dan uji mekanik membran.

Hasil dan Pembahasan

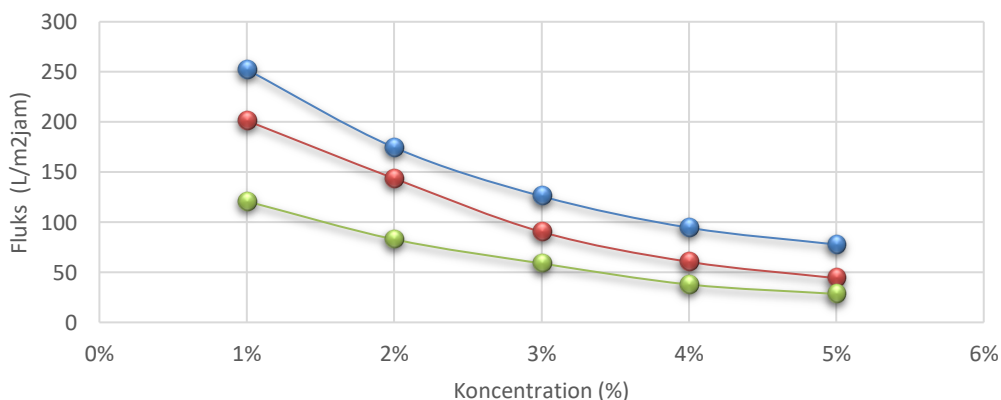
Hasil uji swelling menunjukkan bahwa bahwa semakin tinggi konsentrasi kitosan dalam membran maka hasil persen swelling semakin kecil, hal ini disebabkan dengan semakin tinggi konsentrasi kitosan maka jarak antar molekul dalam kitosan akan semakin rapat dan pori-pori yang terbentuk pada membran akan semakin kecil sehingga air sulit

untuk berdifusi kedalam membran yang menyebabkan kemampuan mengembangnya kecil. Sebaliknya, semakin rendah konsentrasi kitosan dalam membran maka kemampuan mengembangnya besar, hal ini disebabkan dengan konsentrasi kitosan yang kecil maka semakin banyak pelarut yang digunakan atau semakin sedikit zat terlarutnya, maka pori-pori membran yang terbentuk semakin besar. Secara umum, membran dengan konsentrasi 1%; 2%; 3%; 4%; dan 5% mempunyai ketahanan terhadap air yang baik, hal ini ditandai dengan dihasilkan membran yang tidak hancur atau rapuh, untuk hasil uji swelling ditunjukkan pada gambar 1.



Gambar 1. Hasil uji swelling membran

Hasil uji permeabilitas menunjukkan besarnya permeabilitas terhadap air dari film yang dibuat dari berbagai macam konsentrasi larutan kitosan dalam asam asetat yang sangat mempengaruhi. Semakin tinggi konsentrasi kitosan, semakin rendah permeabilitas film. Pada konsentrasi kitosan diatas 3%, kitosan tidak bisa larut sempurna sehingga film yang dihasilkan tidak homogen dan berpori. Hal ini akan berakibat pada peningkatan laju alir. Pengaruh nilai permeabilitas terdapat pada kenaikan konsentrasi larutan dan karakteristik kitosan berdasarkan BM Rendah, BM sedang dan BM tinggi. Pada BM sedang dan BM tinggi angka yang didapat menunjukkan ketidakstabilan membran terhadap nilai permeabilitas. Hal ini disebabkan karakteristik kitosan yang dapat mempengaruhi hasil larutan kitosan sehingga mengakibatkan gelembung udarayang lebih banyak pada membran sehingga menjadi tidak stabil pada proses permeabilitas, hasil uji permeabilitas ditunjukkan pada gambar 2



Gambar 2 Hasil uji Permeabilitas Membran

Hasil uji tekan pada membran dengan tekanan 10, 20, dan 30 bar, serta komposisi fly ash sebesar 20%, 40%, dan 30%. Tabel menunjukkan bahwa membran keramik pada komposisi fly ash 40% menunjukkan nilai kuat tekan yang tertinggi, yakni sebesar 65,45 kg/cm². Pengujian tekan pada membran ini dipengaruhi oleh suhu sintering, dimana pada penelitian ini menggunakan suhu pembakaran sebesar 1200°C selama 7 jam. Secara umum, semakin tinggi suhu pembakaran, maka nilai kuat tekan yang dihasilkan juga akan semakin tinggi, hasil uji kuat mekanik membran dengan metode slip casting ditunjukkan pada tabel 2.

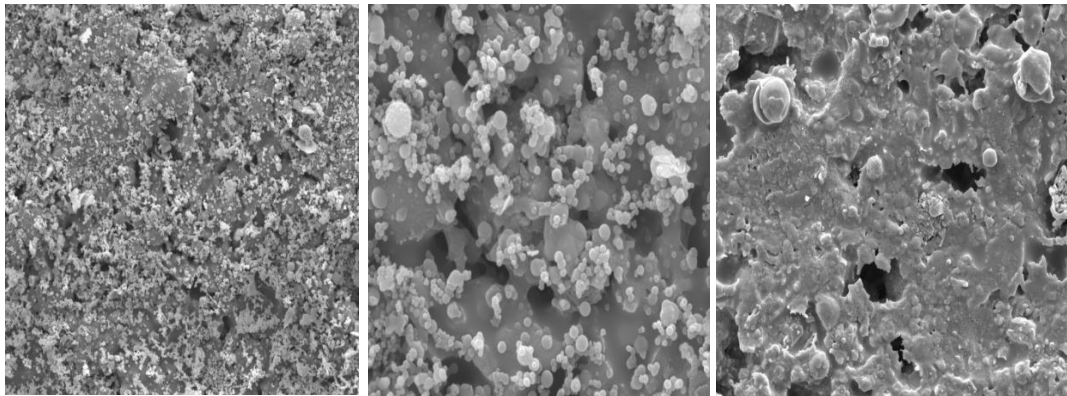
Tabel 2. Hasil Pengujian Compression/ Uji tekan

No	Nama Sample		Hasil	
			Maximum Stress (N/mm ²)	Masimum Force (N)
1.	P 10- M1	Specimen-1	0,02	28,25
		Specimen-2	0,03	31,30
2.	P 20-M1	Specimen-1	0,01	16,35
		Specimen-2	0,03	39,39
3.	P 30-M1	Specimen-1	0,05	56,48
		Specimen-2	0,03	30,88
4.	P 10-M2	Specimen-1	0,03	32,13
		Specimen-2	0,03	34,95
5.	P 20-M2	Specimen-1	0,06	65,45
		Specimen-2	0,03	34,93
6.	P 30-M2	Specimen-1	0,02	20,14
		Specimen-2	0,04	45,09
7.	P 10-M3	Specimen-1	0,03	29,31
		Specimen-2	0,04	31,56
8.	P 20-M3	Specimen-1	0,04	29,75
		Specimen-2	0,05	30,56
9.	P 30-M3	Specimen-1	0,06	43,26
		Specimen-2	0,07	57,30

Pengujian compression test/uji tekan merupakan pengujian untuk mengetahui daya kuat tekan pada sebuah material, pengujian ini dilakukan dengan pengaruh gaya tekan pada material hingga sampel tersebut hancur hingga mencapai batas yang telah ditentukan.

Uji SEM menunjukkan bahwa pada gambar 3 bahwa semakin tinggi tekanan kasting membran maka semakin besar pula ukuran pori membran yang terbentuk, hal ini dipengaruhi oleh suhu pembakaran atau proses kalsinasi yang dilakukan pada suhu 1100°C . Hasil uji SEM pada permukaan membran dapat dibandingkan dengan penelitian yang dilakukan Ong, dkk (2013) yang menyatakan bahwa morfologi pada permukaan membran terlihat seperti struktur jari, pori yang terbentuk ditunjukkan dengan bercak putih yang menyebar pada seluruh permukaan dan besarnya tidak sama disebut asimetrik.

Penelitian Zhiang, dkk (2014) bercak putih pada permukaan morfologi membran menunjukkan adanya faktor dispersi antara partikel aditif dan partikel polimer. Pada penelitian ini hasil SEM yang diperoleh menunjukkan bahwa adanya penambahan zat aditif PEG (Poly Etylen Glicol) mampu meningkatkan ukuran pori hingga maksimal pada konsentrasi 2% dan penambahan berikutnya untuk menurunkan ukuran pori hal ini disebabkan adanya aglomerasi aditif sehingga bisa mengisi pori membran, hasil uji SEM ditunjukkan pada gambar 3.



Gambar 3. Hasil uji SEM dengan perbesaran 20.000 x dan pori membran 20 μm

Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Untuk hasil uji SEM diperoleh morfologi struktur kristal penyusun membrane abu batubara yang lebih dominan adalah gugus Al_2O_3 . Maka gugus atom AL memiliki ukuran yang lebih besar dibandingkan dengan Si, sehingga semakin besar ratio AL/Si pada bahan baku sehingga dihasilkan membran dengan ukuran pori yang lebih besar dalam hal ini sebagai support pada pembentukan pembuatan membran keramik.
2. Mengurangi limbah dengan pemanfaatan SDA (Sumber Daya Alam) *fly ash* batubara menjadi membran yang dapat meningkatkan nilai ekonomis, serta mengurangi dampak buruk terhadap lingkungan.
3. Hasil uji permeabilitas diperoleh bahwa Atom Al memiliki ukuran yang lebih besar dibandingkan dengan Si, sehingga semakin besar ratio AL/Si pada bahan baku sehingga dihasilkan membran dengan ukuran pori yang lebih besar
4. Hasil penelitian mengenai pengaruh komposisi alumina dan kaolin pada pembuatan membran keramik berbasis fly ash menunjukkan bahwa membran keramik M3, yang terdiri dari 20% fly ash, 30% kaolin, dan 40% alumina, memiliki kuat tekan tertinggi mencapai 65,45 kg/cm². Porositas air membran berkisar antara 42,82% - 50,22%, dan semakin tinggi suhu pemanasan membran keramik TiO₂ – fly ash, penyerapan air dan porositas meningkat

Bibliografi

1. Asmatulu, R. (2013), Removal of The Discoloring Contaminants of An eastGeorgia Kaolin Clay and Its Dewatering, Turkish J. Eng. Env.Sci. 26: 447-453
2. Ahmad, Syahril, (2014), Karakterisasi Membran Serat Berongga Polisulfon Asam Malat dengan Metode Scanning Electron Microscope, Journal Sains Materi Indonesia, Vol. 15, No.3, 171-175
3. Astuti, W., A. Prasetya, E.T Wahyuni dan I.M Bendiya. (2011),The Adsorptions of Lead From Aqueous Solutions Using Coal Fly ash: Effect Of World Academy of Science Engineering and Tecnology 5(6) ;805-810.
4. Astuti, W.,E.T Wahyuni, A. Prasetya dan I.M Bendiya (2012), The Effect Of Coal Fly ash Treatment with NaOH on the Characters And Adsorption Mechanism toward Methyl Violet in The Solution 38: 155-160.
5. Abdullah, M., Dan , K. (2008), Review: Karakterisasi Nanomaterial, Jurnal Nanosains & Nanoteknologi, 2,1
6. Astuti, D, (2008), Akttifitas Fotokatalitik TiO₂ Untuk Degradasi Bahan Pewarna Tekstil Jenis Procion Red MX-88. Jember: Universitas Jember.
7. Agmalini, S.,Lingga, N.N dan Nasir, S. (2017), Peningkatan Kualitas Air Rawa Menggunakan membran Keramik Berbahan Tanah Liat dan Abu Terbang Batubara, Jurnal Teknik Kimia. Vol 19(2),hal. 59-68.
8. Agarwal, A., Samanta, A., Nandi, B. K., & Mandal, A. (2020). Synthesis, characterization and performance studies of kaolin-fly ash-based membranes for microfiltration of oily waste water. Journal of Petroleum Science and Engineering, 194, 107475.
9. Apriyanti, E., Hadiyanto, & Wijayanto, W. (2018). Preparation and Characterization of Volcanic Ash-chitosan Composite Ceramic Membrane for Clean Water Production. Journal of Environmental Science and Technology, 11(3), pp. 112–118.
10. Chen, M., Heijman, S. G. J., & Rietveld, L. C. (2021). State-of-the-Art Ceramic Membranes for Oily Wastewater Treatment: Modification and Application. Membranes, 11(11), Article 11.
11. Chathurappan, R., & Jayapal, A. (2022). Synthesis and characterization of coal fly ash based multipurpose ultrafiltration membrane. Materialia, 25, 101548.

12. Chasri N (2015), The Utilization of Coal Fly ash as Ceramic Membranes for the Unit of Peat Water Treatment J. Dinamika Kim. 26(2),pp.95-105
13. Chen, J., Lv, Q., Meng, Q., Liu, X., Xiao, X., Li, X., & Gao, P. (2022). Study on Treatment of Low Concentration Oily Wastewater Using Alumina Ceramic Membranes. Crystals, 12(2), 127, pp. 1-11.
14. Dong, Y., S.Hampshire, J.Zhou, B.Lin, Z.Ji, X.Zhang, dan G.Meng (2010) *Recyclin of Fly ash for Preparing Porous Mullite Membrane Supports with Titania Addition*, Journal of Hazardous Material. 180: 173-180
15. Kusworo, T. D., Kumoro, A. C., Utomo, D. P., Kusumah, F. M., & Pratiwi, M. D. (2021). *Performance of the Crosslinked PVA Coated PES-TiO₂ Nano Hybrid Membrane for the Treatment of Pretreated Natural Rubber Wastewater Involving Sequential Adsorption – Ozonation Processes*. Journal of Environmental Chemical Engineering, 9(2), 104855.
16. Kyriakogona, K., Giannopoulou, I., & Panias, D. (2017, June). *Extraction of Aluminium from Kaolin: A Comparative Study of Hydrometallurgical Processes*. The 3rd World Congress on Mechanical, Chemical, and Material Engineering. pp. 133-1 – 133-6.
17. Lu, Y. *et al*, (2015), *When Bioelectrochemical System Meet Forward Osmosis: Accomplishing Wastawater Treatment and Reuse through Synergy*, Journal water, Vol 7, pp. 38-50.
18. Lestari, Yuliani Tri. (2013), *Pemanfaatan Limbah Abu Terbang (Fly ash) Batubara Sebagai Adsorben untuk Penentuan Kadar Gas NO₂ di Udara*. Skripsi. Jurusan Kimia: Universitas Jember.