PEMBUATAN, KARAKTERISASI STRUKTUR MIKRO DAN PENGUJIAN MEMBRAN KERAMIK Al_2O_3 TANPA PENDUKUNG

Upita Septiani*, Cynthia L Radiman**, Bambang Ariwahjoedi**, Aditianto Ramelan***
*Jurusan Kimia FMIPA universitas Andalas, Kampus Unand Limau Manis Padang
**Jurusan Kimia FMIPA Institut Teknologi Bandung, Jl. Ganesha 10 Bandung
***Jurusan Teknik Mesin Institut Teknologi Bandung, Jl. Ganesha 10 Bandung

INTISARI

Telah dilakukan penelitian awal pembuatan, karakterisasi struktur mikro dan pengujian membran keramik tanpa pendukung dari campuran *ball clay*, kaolin, α-alumina dan felspar yang dicetak dengan dua proses pencetakan yaitu *roll forming* dan *slip casting* dengan memperhatikan ukuran partikel, komposisi formulasi, pengeringan dan suhu sintering dari membran keramik tersebut. Dari hasil karakterisasi dengan beberapa metoda sebagai berikut; SEM untuk mengetahui ukuran pori, metoda piknometri untuk menentukan porositas membran dan uji permeabilitas membran terhadap air dengan metoda aliran air untuk mengetahui kinerja membran, didapat rata-rata ukuran pori antara 1,3 – 2,5μm dengan permeabilitas air antara 181,9 – 303,2 L/m^2.h atm dan porositas terbuka antara 37,1 – 45,0 %vol dengan proses *roll forming* dan 1,8 – 2,1μm, 1054,7 – 3766,9 L/m^2.h atm dan 27,3 – 41,2 % vol dengan proses *slip casting*. Dari data hasil karakterisasi tersebut, membran keramik dengan proses *slip casting* dapat menghasilkan membran keramik mikrofiltrasi dengan kinerja membran yang lebih bagus dari membran keramik dengan proses *roll forming*.

Kata Kunci: Membran, Keramik dan Struktur Mikro

ABSTRACT

An early investigation has been carried out for the first time in the preparation, microstructural characterization and performance testing of unsupported ceramic membranes which were prepared from ball clay, kaolin, α-alumina and feldspar by using two casting processes, namely roll forming and slip casting. The parameters varied in the paste preparation were powder particel size, composition formula, drying and sintering temperature. Membranes were characterized by employing SEM to determine mean pore size, pycnometry to determine porosity and water flux measurement to determine the membrane characteristic transport properties. Results, indicate the mean pore size of as producced membrane was between 1.3 – 2.5 μm with hydraaulic permeability of between 181.9 – 303.2 L/m^2.h atm and porosity of around 37.1 – 45.0 vol-% for roll forming processed samples and 1.8 –2.1μm, 1054.7 – 3766.9 L/m^2.h atm and 27.3 – 41.2 vol-% for slip casting processed ones. Membrane processed via slip casting can provide unsupported ceramic microfiltration membranes with better transport properties than those roll formed.

Keywords : Membrane, Ceramic and Microstructural

PENDAHULUAN

Proses pemisahan, pemekatan dan pemurnian spesi kimiawi yang ada dalam campuran dengan menggunakan membran akhir-akhir ini telah menjadi altenatif penting di berbagai industri. Hal ini di sebabkan cara pemakaian membran untuk keperluan proses-proses tersebut lebih cepat, efisien dan ekonomis dibandingkan cara konvensional seperti destilasi, kristalisasi maupun ekstraksi.[1,6,7,8]

Kemajuan ilmu pengetahuan dan teknologi menyebabkan timbulnya berbagai kebutuhan akan membran yang mempunyai sifat tertentu yang lebih baik. Keramik adalah salah satu pilihan untuk memenuhi kebutuhan tersebut, karena keramik mempunyai sifat-sifat yang bagus seperti tahan terhadap temperatur tinggi, tahan secara kimia, keras dan kaku, sehingga penelitian dan pengggunaan membran keramik dalam teknologi pemisahan yang masih relatif baru itu berkembang sangat pesat pada beberapa tahun terakhir ini.[4,5]

Membran keramik dapat tersusun dari kumpulan partikel-partikel yang berbentuk butiran, sehingga terdapat ruang-ruang kosong (pori) antara partikel-partikel tersebut. Melalui pori-pori inilah komponen-komponen tertentu dapat dipindahkan ke sisi lain dari membran.[1,4]

Bahan atau material pembuat membran keramik adalah oksida logam seperti Al_2O_3, ZrO_2, TiO_2 dan material lainnya yang bisa didapat secara komersial seperti cordierite, mullite, silikon karbida, silikon nitrida, silika dan lain-lain. Pada membran keramik susunan, bentuk dan ukuran pori menjadi kunci karakterisasi membran, karena membran keramik tersebut dibuat dari material yang berupa butiran-butiran partikel melalui proses penyiapan serbuk material keramik, pengadonan, pencetakan, pengeringan dan sintering, dimana setiap proses sangat mempengaruhi kwalitas membran yang dihasilkan.[1,2,4,9]

Berdasarkan pendukung membran terdiri dari membran dengan pendukung dan membran tanpa pendukung, dimana pendukung berperan pada saat pemakaian membran, untuk mendapatkan dukungan/tahanan/kekuatan saat aliran umpan dilewatkan pada membran. Biasanya pendukung terbuat dari material yang berbeda dari membran, untuk membran keramik digunakan logam atau *stainless-steel* sebagai pendukung.[2,3,4]

Pada umumnya membran keramik yang banyak dikembangkan dan diteliti adalah membran keramik dengan pendukung yang dibuat dari material pembuat membran keramik yang harus murni, seperti Al_2O_3 saja atau TiO_2 saja, sehingga dirasa kurang effisien karena kinerja membran jadi bergantung pada adanya pendukung dan dari segi produksi biayanya sangat mahal.

Berdasarkan hal diatas, maka pada penelitian ini dibuat membran keramik tanpa pendukung dengan mencampurkan antara material pembuat membran AL_2O_3 dengan *ball clay* (digunakan *clay* Indonesia dengan spesifikasi *ball clay*), kaolin dan felspar, sehingga diharapkan dapat menekan biaya produksi dari membran. Campuran ini akan dibuat dengan variasi komposisi untuk melihat atau mendapatkan pada variasi komposisi mana didapatkan membran keramik dengan spesifikasi mikrofiltrasi, dipilihnya spesifikasi mikrofiltrasi karena membran mikrofiltrasi adalah membran yang paling banyak digunakan karena mudah dalam produksinya dan harganya lebih murah.

Membran keramik untuk mikrofiltrasi biasanya dibuat dari serbuk material keramik. Mutu membran yang dihasilkan sangat ditentukan oleh ukuran partikel serbuk material keramik dan komposisi formulasinya.

Membran keramik yang telah terbentuk dikarakterisasi dengan beberapa metoda sebagai berikut ; SEM (*Scanning Electron Microscopy*) untuk mengetahui ukuran pori dan distribusi ukuran porinya, metoda piknometri untuk menentukan porositas membran dan uji permeabilitas membran terhadap air dengan metoda aliran air untuk menentukan kinerja membran.

METODOLOGI PENELITIAN

Bahan Dan Alat Yang Digunakan :

Bahan yang akan digunakan dalam penelitian ini adalah *ball clay* kalimatan, kaolin, alumina, felspar, aditif polivinil alcohol, etilen glikol, Na_2SiO_3, aquades, n-heptana dan *gypsum*. Alat yang digunakan pada penelitian ini terdiri atas alat-alat yang lazim digunakan seperti beker gelas, erlemeyer bertutup, gelas ukur, labu ukur, spatula, kaca arloji, pipet tetes, alat timbang, pengaduk magnetic, mostar, cawan porselin, alat cetak roller, stop watch dan *furnace*. Untuk karakterisasi digunakan sel mikrofiltrasi untuk menentukan kinerja membran, mikrimeter mitutoyo untuk menentukan ketebalan membran, piknometer, SEM (*Scanning Electron Microscopy*) untuk menentukan ukuran pori dari membran dan *X-Ray Diffraction* untuk Karakterisasi bahan keramik.

Prosedur Kerja:

Tahap pengerjaan pada penelitian ini dimulai dengan karakterisasi serbuk keramik yang digunakan. Setelah dikarakterisasi, serbuk keramik dengan komposisi tertentu dibuat adonan keramik dengan konsistensi *slurry*. Pembentukan membran akan dilakukan dengan dua prosese pencetakan yaitu, *roll forming* dan *slip casting*. Hasil cetakan kemudian dikeringkan dan dibakar pada suhu 1225°C.

Membran hasil sintering dikarakterisasi dengan *Scanning Electron Microscopy* untuk mengetahui ukuran pori dan distribusi ukuran porinya, metoda piknometri untuk mengetahui porositas dan uji permeabilitas terhadap air dengan metoda aliran air untuk menentukan kinerja membran.

Pembuatan Adonan membran Keramik :

Serbuk membran keramik dicampurkan sesuai dengan persentase berat tertentu, yaitu :

Tabel 1. Komposisi campuran serbuk membran keramik

Jenis Membran	Komposisi Campuran (%)			
	Ball Clay	Kaolin	α-alumina	Felspar
M-1	20	35	40	5
M-2	20	45	30	5
M-3	20	55	20	5
M-4	20	65	10	5

Masing-masing komposisi ditambahkan air sampai didapatkan adonan dengan viskositas yang sesuai dengan cetakan yang akan digunakan dan ditambahkan zat aditif yang diperlukan sebanyak 1 % berat lalu diaduk sampai homogen dan diusahakan tidak ada gelembung udara.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Telah dilakukan penelitian pembuatan membran keramik dari campuran *ball clay*, kaolin, α-alumina dan felspar yang dibakar pada suhu 1225°C dari hasil pengamatan dan percobaan mengenai karakterisasi bahan yang digunakan dan membran keramik yang dihasilkan, diperoleh data-data sebagai berikut :

Karakterisasi

Alumina

Untuk memastikan jenis alumina yang akan dipakai untuk pembuatan membran keramik, dilakukan *X-ray Diffraction*, dari hasilnya diperoleh :

Tabel 2. Hasil XRD serbuk alumina

$2\theta^{(0)}$	I/I_0
25,85	67,6
35,23	07,3
37,85	41,2
43,38	100
52,62	44,9
57,54	79,7
59,69	2,7
61,38	7,4

Dimana I/I_0 adalah intensitas relatif dengan I_0 sebagai intensitas paling maksimum (pada 2θ = 43,38°). Identifikasi dilakukan dengan menghitung jarak antar bidang dalam kristal sesuai dengan hukum Bragg:

$$n\lambda = 2d \sin \theta$$

Harga n dianggap 1 dan λ_{Cu} = 1,542°A maka jarak antar bidang tiap θ dapat dihitung.

Tabel 3. Jarak antar bidang (d) dari tiga intensitas tertinggi hasil XRD serbuk alumina

I/I_0	D (°A)
100	2,084
97,3	2,570
79,7	1,606
67,6	3,505

Jika data di atas dibandingkan dengan table hanawalt, maka data ini cocok dengan hasil XRD α-alumina. Jadi jenis alumina yang dipakai adalah α-alumina.

Ukuran partikel akan menentukan ukuran pori yang terbentuk. Makin besar ukuran partikel yang digunakan, makin besar pori yang terbentuk. Dari hasil analisa yang dilakukan di Balai Besar Keramik dengan menggunakan pipet Andreasen diperoleh distribusi ukuran partikel alumina yang digunakan.

Tabel 4. Distribusi ukuran partikel α-alumina

Diameter partikel (μm)	Persentase (%)
>60	0,18
40-60	55,34
30-40	21,05
20-30	6,68
10-20	7,13
5-10	4,07
2-5	3,06
<2	2,49

Kaolin

Kaolin yang digunakan diperoleh dari toko bahan kimia dari hasil XRD diperoleh data sebagai berikut :

Tabel 5. Hasil XRD kaolin

$2\theta^{(0)}$	I/I_0	d(°A)
9,54	13,9	9,07
20,92	23,5	4,28
226,77	100	3,35
29,23	20	3,02

Dari data di atas setelah dibandingkan dengan table hanawalt menunjukkan senyawa yang terdapat dalam bahan tersebut adalah pirophylite dan α-quartz.

Pirophyllite $Al_2(Si_2O_5)_2(OH)_2$ adalah salah satu jenis mineral lempung dengan rumus kimia yang hampir sama dengan kaolin $Al_2(Si_2O_5)(OH)_4$. Antar lapisan pada struktur material ini tidak terdapat ikatan kimia yang kuat sehingga mineral ini lunak, mudah pecah dan licin.

Felspar

Felspar yang digunakan diperoleh dari took bahan kimia dari hasil X-*Ray Diffraction* diperoleh data sebagai berikut:

Tabel 6. Hasil XRD felspar

$2\theta^{(0)}$	I/I_0	d(°A)
20,92	37,6	4,28
23,38	17,4	3,76
26,77	100	3,35
27,69	21,3	3,21

Dari data di atas setelah dibandingkan dengan table Hanawalt menunjukan senyawa yang terdapat dalam bahan tersebut adalah felspar dan α-quartz.

Proses Pencetakan

Slip Casting

Dari hasil dan pengamatan selama penelitian proses cetak *slip casting* menghasilkan membran keramik dengan ketebalan yang susah dikontrol karena ketebalan membran bergantung pada tinggi rendahnya konsentrasi serbuk keramik yang masuk dalam cetakan.

Faktor yang berpengaruh pada kecepatan terbentuknya membran keramik adalah kandungan air yang digunakan sebagai pendispersi serbuk keramik dan cetakan yang dipakai.

Membran keramik yang dihasilkan dengan proses cetak *slip casting* memberikan pori yang lebih bulat dan terbuka karena pori terbentuk secara alami lewat penguapan pelarut.

Roll forming

Dengan proses cetak *roll forming* mudah didapatkan membran keramik dengan ketebalan yang diinginkan dan reproduksibilitas yang tinggi, karena untuk mendapatkan ketebalan yang diinginkan memakai gaya tekan yang menyebabkan terjadinya pergeseran antar partikel serbuk keramik, pori membran keramik yang terbentuk bisa jadi tertutup atau terbuka, sehingga pengaturan pori lebih sukar dilakukan. Keuntungan dengan proses cetak *roll forming* ini lebih mudah mendapatkan membran keramik yang tipis dibandingkan dengan proses cetak *slip casting*.

Pori yang dihasilkan dengan proses cetak *roll forming* ini kurang bulat dan kebanyakan merupakan pori terbuka yang tidak tembus (*dead end pore*).

Pembakaran

Lempung mempunyai fungsi sebagai pemlastis yang membantu pembentukan badan keramik sebelum dibakar ketika dicampur dengan air. Dalam keadaan kering sebelum dibakar akan menjadi keras tapi rapuh, hal ini menguntungkan karena kita dapat melakukan penyempurnaan bentuk dengan mudah. Setelah dibakar dan sinter, terjadi peningkatan kekuatan mekanik dengan terbentuknya ikatan antar partikel. Saat ruang antar partikel berkurang akibat penggabungan partikel-partikel, maka akan terbentuk pori.

Lempung mempunyai susut bakar yang tinggi yang akan mengakibatkan membran keramik yang dihasilkan sulit dipakai pada peralatan lain karena ukurannya tidak akurat. Untuk mengatasi masalah ini keberadaan Al_2O_3 akan dapat mengurangi susut bakar yang terjadi. Selain mengurangi susut bakar, alumina sangat berperan pada pembentukan pori membran keramik, karena mempunyai titik leleh yang tinggi (2050^0C)[11], maka pada saat lempung mulai meleleh, alumina belum meleleh pada tahap tersebut pori masih bisa terbentuk.

Sebelum ditetapkan temperatur pembakaran dari membran keramik, dalam penelitian ini dilakukan terlebih dahulu percobaan pembakaran membran keramik, dalam hal ini dilakukan pembakaran membran keramik pada 2 temperatur dalam rentang temperatur sintering, agar diperoleh temperatur pembakaran yang tepat. Pembakaran dilakukan pada temperatur 1200^0C dan 1225^0C dan ditahan selama 4 jam pada temperatur tersebut. Membran keramik yang dibakar pada temperatur 1200^0C belum mencapai sifat mekanik yang diharapkan, dimana membran keramik yang dihasilkan masih rapuh dan mudah pecah. Jadi pada pembakaran dengan temperatur 1200^0C membran keramik belum sinter. Membran keramik yang dibakar pada temperatur 1225^0C menunjukan adanya peningkatan sifat mekanik bila dibandingkan dengan membran keramik yang dibakar pada temperatur 1200^0C. Bila dilihat hasil gambar dari SEM, maka pori yang terbentuk pada pembakaran membran keramik dengan temperatur 1200^0C tidak terlalu berbeda dengan pori membran keramik pada pembakaran dengan temperatur 1225^0C. Dari hasil percobaan pembakaran di atas, maka temperatur yang digunakan untuk pembakaran membran keramik dalam penelitian ini adalah 1225^0C.

Ketebalan Membran

Ketebalan membran yang diperoleh dari hasil pengukuran terlihat pada Tabel berikut.

Tabel 7. Hasil pengukuran ketebalan membran

Jenis membran	Ketebalan membran (mm)	
	Roll forming	*Slip casting*
M-1	0,765	2,416
M-2	0,765	2,596
M-3	0,765	2,426
M-4	0,765	2,426
Rata-rata	0,765	2,466
SB*	0	0,087

*SB = Simpangan baku

Hasil pengukuran ketebalan membran menunjukan bahwa membran dengan proses cetak *roll forming* mempunyai ketebalan yang sama pada ke-4 jenis membran, hal ini disebabkan karena dengan proses cetak *roll forming* dapat diatur ketebalan membran yang diinginkan dengan mengatur tombol pada cetakan (roller). Sedangkan dengan proses cetak *slip casting* didapatkan ketebalan membran yang berbeda, ini disebabkan ketebalan membran bergantung pada tinggi rendahnya konsentrasi serbuk keramik yang masuk ke dalam cetakan. Ketebalan membran berpengaruh terhadap nilai fluks. Namun demikian tidak selalu berarti bahwa semakin tebal membran, nilai fluks semakin kecil. Hal ini disebabkan karena ada factor lain yang juga mempengaruhi nilai fluks, seperti distribusi pori, porositas membran dan lain-lain.

Rata-Rata Ukuran Pori Dan Distribusi Pori

Dari gambar hasil pengamatan dengan *Scanning Electron Microscopy* (SEM) di dapat rata-rata ukuran pori dan distribusi pori sebagai berikut :

Tabel 8. Rata-rata ukuran pori membran keramik

Jenis membran	*Roll forming*		*Slip casting*	
	Rata-rata ukuran pori (µm)	SB* (µm)	Rata-rata ukuran pori (µm)	SB* (µm)
M-1	2,5	1,21	2,1	0,82
M-2	1,9	0,64	2,0	2,24
M-3	1,3	0,29	1,8	0,65
M-4	1,3	0,24	1,8	0,70

*SB = Simpangan baku

Tabel 9. Distribusi kualitatif pori membran keramik dari hasil SEM

Jenis membran	Distribusi Pori			
	Roll Forming		*Slip casting*	
M-1	(2,5±1,21) µm	Paling lebar	(2,1±0,82) µm	Lebar
M-2	(1,9±0,64) µm	Lebar	(2,0±2,24) µm	Paling lebar
M-3	(1,3±0,29) µm	Sempit	(1,8±0,65) µm	Paling sempit
M-4	(1,3±0,24) µm	Paling sempit	(1,8±0,70) µm	sempit

Hasil menunjukan bahwa membran yang dibuat dengan proses cetak *roll forming* maupun *slip casting* memberikan rata-rata ukuran pori dan distribusi pori yang hampir sama, dalam hal ini kelihatan bahwa proses cetak tidak mempengaruhi ukuran pori dan distribusi pori.

Ukuran pori dan distribusi pori menurun dari M-1 ke M-4, baik pada proses cetak *roll forming* maupun pada proses cetak *slip casting*. Jika kita lihat komposisi M-1 sampai M-4 (Tabel.2), maka persentase kaolin dalam komposisi formulasi meningkat dari M-1 ke M-4 dan persentase alumina menurun dari M-1 ke M-4, jadi dapat dikatakan bahwa dengan ditingkatkannya persentase kaolin dan dikuranginya persentase alumina dalam komposisi formulasi akan menurunkan pori dan distribusi ukuran pori, hal ini disebabkan karena kaolin adalah partikel yang sangat halus (kecil), sehingga dalam pembentukan pori partikel yang berukuran kecil tersebut akan mengisi ruang antar partikel yang berukuran besar, sehingga memungkinkan terbentuknya pori yang akan berukuran kecil.

Porositas Membran Keramik

Dari hasil uji porositas didapatkan data porositas terbuka dari membran keramik seperti tertera pada tabel berikut:

Tabel 10. Porositas terbuka dari membran keramik

Jenis membran	% Porositas terbuka	
	Roll Forming	Slip casting
M-1	42,18	41,23
M-2	40,29	40,69
M-3	45,01	39,93
M-4	37,09	27,33

Porositas terbuka dari membran yang ditentukan dengan metoda piknometri berkisar antara 37 – 42% pada proses *roll forming* dan 27 – 41 % pada proses slip casting. Pada proses *slip casting* didapatkan porositas yang meningkat dengan menurunnya persentase kaolin dalam komposisi formulasi, sedangkan pada proses *roll forming* porositas yang didapatkan tidak menunjukkan peningkatan atau penurunan yang teratur, hal ini disebabkan oleh perbedaan proses cetak, dimana pada proses cetak dengan *roll forming* mudah memdapatkan produk membran keramik yang tipis (ketebalannya dapat diatur sesuai dengan yang diinginkan), tetapi untuk mendapatkan ketebalan yang diinginkan itu memakai gaya tekan yang menyebabkan terjadinya pergeseran antara partikel-partikel penyusun membran yang dicetak, sehingga pori membran bisa jadi tertutup atau terbuka tergantung pada pergeseran partikel-partikel penyusun membran tersebut. Dengan kata lain

pengaturan poro membran lebih sukar dilakukan dan sangat dipengaruhi oleh gaya tekan yang menyebabkan timbulnya pergeseran antara partikel-partikel penyusun membran. Pada proses cetak dengan *slip casting* didapatkan porositas yang meningkat secara teratur dengan menurunnya persentase kaolin dalam komposisi formulasi, hal ini disebabkan pori yang terbentuk terjadi dengan sendirinya karena penguapan air dari adonan membran encer (*slurry*). Penguapan air tersebut dalam proses pengeringan harus benar-benar dikontrol, terutama kelembaban ruangan tempat pengeringannya, sehingga pada proses *slip casting* didapatkan membran dengan pori yang lebih bulat dan terbuka dibandingkan dengan proses *roll forming*, hal ini dapat dilihat dari hasil gambar membran dengan SEM. Tetapi pada proses *slip casting* ketebalan membran sukar diatur dan membran yang didapat lebih tebal.

Pada komposisi formulasi M-4 terjadi penurunan yang sangat tajam dari porositas membran baik pada proses cetak *slip casting* maupun *roll forming*, hal ini disebabkan, karena pada komposisi M-4 tersebut persentase kaolin yang merupakan partikel yang halus yang dapat mengisi atau menutup pori yang terbentuk sangat banyak bila dibandingkan dengan persentase α-alumina yang merupakan partikel yang sangat stabil dan pertikel pembentuk pori, sehingga pori yang terbentuk pada komposisi formulasi M-4 sedikit sekali.

Kinerja Membran

Dalam penelitian ini kinerja membran dilihat hanya dari permeabilitasnya terhadap air. Hasil dari permeabilitas air dari membran dapat dilihat pada tabel 11 berikut:

Tabel 11. Permeabilitas membran keramik

Jenis membran	Permeabilitas membran (L/m^{2}h atm)	
	Roll Forming	*Slip Casting*
M-1	242,54	3766,94
M-2	181,90	2260,16
M-3	303,17	1506,78
M-4	151,59	1054,74

Permeabilitas air dari membran dengan proses cetak *slip casting* meningkat dengan teratur, sedangkan pada proses cetak dengan *roll forming* peningkatan atau penurunannya tidak teratur. Jika diteliti dari porositasnya, porositas dari membran dengan proses cetak *roll forming* lebih besar dari proses *slip casting* tetapi kenyataannya permeabilitas air dengan proses *slip casting* lebih besar daripada proses *roll forming*, hal ini kemungkinan pada membran dengan proses *roll forming* terdapat pori-pori membran yang tidak tembus (*dead-end pore*) disebabkan cara pencetakannya yang menggunakan gaya tekan yang menyebabkan timbulnya pergeseran partikel-partikel penyusun membran. Pori *dead end* ini tidak memberikan konstribusi pada permeabilitas air, sehingga permeabilitas air pada membran dengan proses *roll forming* lebih kecil dari permeabilitas air pada membran dengan proses *slip casting* yang porinya berbentuk lebih bulat dan terbuka.

KESIMPULAN

Membran keramik tanpa pendukung dapat dibuat dari campuran *ball clay*, α-alumina, kaolin dan felspar yang dicetak dengan 971320 proses pencetakan yaitu *roll forming* dan *slip casting* yang disintering pada suhu 1225^{0}C. setelah dikarakterisasi memberikan rata-rata ukuran pori antara 1,3 – 2,5 μm dengan permeabilitas air antara 181,9 – 303,2 L/m^{2}h atm dan porositas terbuka antara 37,1 – 45,0 % pada pencetakan dengan proses *roll forming* dan 1,8 – 2,1μm, 1054,7 – 3766,9 L/m^{2}h atm dan 27,3 – 41,2% pada pencetakan dengan proses *slip casting*.

Hasil karakterisasi di atas menunjukan bahwa proses pencetakan tidak banyak mempengaruhi ukuran pori membran. Proses pencetakan hanya mempengaruhi porositas dan kinerja membran

DAFTAR PUSTAKA

1. J. Marchese, C. Almandoz and M. Amaral, Preparation and Characterization of Unsupported Ceramic Membranes for Microfiltration, San Louis, Argentina, 488-489.
2. B.I. Lee, Pope, J.A. Edwart, Chemical Processing of Ceramic, Marcel Dekker, Inc., New York, 501-531, 1994.
3. M. Mulder, Basic Principles of Membrane Technology, 2nd edition, Kluwer Academy Publishers, Doedrecht, 302-350, 1996.
4. Bhave, R. Ramesh, Inorganik Membrane Synthesis, Characterization and Aplication, Van Nostrand Reinhold, 205-225, 1991.
5. Ariwahjoedi Bambang., Kimia dan Teknologi Keramik, Institut Teknologi Bandung, 5, 1993.
6. G.R. Gallaher, P.K.T. Liu, Characterization of Ceramic Membrane, Journal of Membrane Science 92, 29-44, 1994.
7. J. Randon, P. Blane and R. Paterson, Modification of Ceramic Membrane Surfaces Using Phosphoric Acid and Alkyl Phosphonic Acid and Its Effects on Ultrafiltration of BSA Prolein., Journal of Membrane Science 98, 119-129, 1995.

8. F.F.. Nazzal, M.R. Wiesner, pH and Ionic Strength Effects on Performance of Ceramik Membrane in Water Filtration., Journal of Membrane Science 93, 91-103, 1994.
9. James Reed, Introduction to Principles of Ceramic Processing., John Wiley & Sons, Singapure, 50-67, 1988.
10. D.R. Askeland, The Science and Engineering of Material, Brodes Cole Engineering Devision, New York, 412-451, 1984.
11. W.D. Callister, Materials Science and Engineering, John Wiley & Sons, New York, 1985.
12. E. Purba, Alumina, Informasi Teknologi Keramik dan Gelas, vol.5, no.20, 32-36,1984
13. Basuki, Penelitian Pengolahan Bahan Baku Felspar Untuk Pembuatan Keramik Halus, Informasi Teknologi Keramik dan Gelas, Balai Besar Keramik, Bandung, Indonesia, 29, 1986.
14. Grim, E. Ralph, Clay Mineralogy, Second Edition, Mc Graw Hill Book Company, New York, 1968.
15. H. Van Olphen, Clay Colloid Chemistry, Second Edition, John Wiley & Sons, New York, 1977.
16. C.H. Chang, R. Gopalan, A Comparative Study on Thermal and Hydrothermal Stability of Alumina, Titania and Zirconia Membrane, Journal of Membrane Science 91, 27-45,1994.