

MEMBRAN MICROFILTRASI BERBASIS BIO-HIBRID KOMPOSIT PADA PENGENDALIAN AIR PERMUKAAN

I.D.G Ary Subagia^{1,*}, Cok Istri Putri Kusuma K¹

¹Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Udayana (UNUD), Kampus Bukit Jimbaran-Badung (80361) Bali

*Email. arsubmt@me.unud.ac.id

Abstrak

Peper ini menganalisa ujuk kerja membran mikrofiltrasi (MF) berbasis bio-hibrid komposit polymer matrik campuran PVA dan serisin cocon dengan penguat carbon aktif arang tempurung kelapa dan biji kelor (*moringa olifera*). Tujuan penelitian untuk menginvestigasi kemampuan membrane mikrofiltrasi bio-hibrid komposit dalam mengontrol kandungan negative yang terdapat kandungan pada air permukaan. Membran MF bio-hibrid dirancang berdasarkan perbandingan fraksi berat 70%wt: 30%wt yang diproduksi dengan menggunakan teknik casting. Metode eksperimen kuantitatif untk menentukan kinerja membran MF secara adsorbsi dan sparasi telah dilaksanakan, dan struktur membran dianalisa menggunakan scanning electron microscope (SEM). Sifat mekanis membran dari hasil pengujian menunjukkan kenaikan fraksi berat karbon aktif tempurung kelapa (AC) meningkatkan tegangan sebesar 15% (1,199 Mpa) namun regangan menurun sebesar 5%. Modulus elastisitas meningkat terhadap kontrol sebesar 28%. Kenaikan fraksi berat moringa mempengaruhi kenaikan regangan (ϵ) membran. Unjuk kerja membran bio-hibrid saat pra/pasca proses *dead end flow filtration* menunjukkan penurunan kekeruhan yang signifikan sebesar 19% pada membran dengan karbon aktif tempurung kelapa 22,5 wt%. Dapat disimpulkan membran bio-hybrid komposit telah mampu dengan signifikan mengontrol kualitas ait permukaan.

Kata kunci : Bio-hibrid, Komposit, Membran, Mikrofiltrasi, Air permmukaan

Pendahuluan

Teknologi membran aplikasinya telah berkembang pesat dalam pengolahan dan pengendalian kualitas air baku dan air limbah. Pada umumnya membran merupakan lapisan berpori yang hanya dapat dilalui oleh molekul - molekul dengan ukuran tertentu [1]. Membran berdasarkan tingkat porositas dikelompokkan menjadi membran *mikrofiltrasi* (MF), *ultrafiltrasi* (UF), *nanofiltrasi* (NF) dan *reverse osmosis* (RO) [2]. Pengolahan air dengan menggunakan membran memberikan beberapa keuntungan yaitu sifat membran memiliki kegunaan yang bervariasi. dapat dihibridisasi, dan membutuhkan energi rendah [1, 3, 4]. Akan tetapi, kelemahan dari membran adalah sangat mudah untuk terbentuk polarisasi konsentrasi (fouling), selektifitas rendah dan tidak tahan lama [5].

Perkembangan teknologi membran berjalan dengan pesat [6], dan saat ini, dengan semakin beragamnya polutan yang terkandung pada air, perkembangan penelitian membran diarahkan

pada pemilihan bahan dasar yang mampu mengurangi dan bahkan menghilangkan kotoran, bau, warna dan zat-zat kimia secara menyeluruh (*multi-purpose*). Terdapat beberapa penelitian yang telah dilakukan terhadap penggunaan material organik sebagai bahan dasar membran seperti penggunaan material biji kelor (*moringa oliefera*) [7-11]. Biji kelor mampu sebagai antibakterial, sehingga baik dipergunakan sebagai bahan dasar membran [12]. Disamping itu biji kelor mampu menghilangkan *fluoride* pada air [13, 14]. Karbon aktif juga banyak dipergunakan sebagai bahan dasar membran, karena memiliki kemampuan dalam penyerapan bau dan zat kimia pada air [15-20]. Saat ini, membran berbasis *poly (vinyl alcohol)* (PVA) juga telah banyak dikembangkan seperti dilakukan oleh [21, 22]. Bertitik tolak dari penelitian terdahulu, secara umum telah berfungsi secara efektif dan telah memenuhi kriteria membran yang ditentukan. Akan tetapi hasil yang dicapai masih bersifat parsial karena masih menggunakan bahan dasar tunggal.

Sejak sepuluh tahun yang lalu, membran dengan hibrid komposit telah dikembangkan, yaitu dengan menggabungkan dua phase bahan dasar organik yang berbeda dalam polymer organik sebagai matrik tunggal atau gabungan untuk memperoleh membran dengan sifat dan karakteristik baru. Membran ini dikenal dengan sebutan membran bio-hibrid komposit. Teknologi hibridisasi pada membran telah dilakukan oleh [23-25]. Selain itu, hibridisasi polymer matrik banyak juga dilakukan diantaranya oleh [21, 26-29].

Berangkat dari hasil yang telah dikembangkan dalam penelitian terdahulu, melalui penelitian ini, kami melakukan perancangan membran mikrofiltrasi (MF) bio-hibrid komposit. Tujuan penelitian adalah untuk mengembangkan membran bio-hibrid yang dapat secara multi menghilangkan senyawa negatif pada air baku. Membran mikrofiltrasi dibuat dengan menggunakan metode casting. Selanjutnya diujikan dengan terhadap air baku. Karakterisasi membran diujikan dengan menggunakan *scanning electron microscope* (SEM) pada *low magnification*.

Membran Komposit Bio-hibrid

Material.

Penelitian ini menggunakan bahan dasar biji kelor dan karbon aktif dari tempurung kelapa. Sedangkan bahan dasar matrik adalah campuran antara *serisin* dan *poly-vinyl-alcohol* (PVA).

Biji kelor (*moringa oleifera*) ditunjukkan seperti gambar 1a, adalah jenis penguat yang bersumber dari alam, yang mampu mengurangi (*degradasi*) warna mencapai 98%, Penurunan *Biochemical oxygen demand* (BOD) 62% dan kandungan lumpur 70 ml per liter serbuk *Moringa oleifera* juga mampu membersihkan 90% dari total bakteri *Eschericia coli* (E.coli)/liter air sungai dalam 20 menit. Biji kelor mengandung molekul protein larut air dengan berat molekul yang rendah. *Moringa* adalah tersusun dari gugus protein yang terediri dari 79.3% bersifat kationik dan 20.7% bersifat anionik. Protein ini akan bermuatan positif jika dilarutkan dalam air, disamping itu juga mengandung zat

aktif 4 α L-ramnonosiloksi- benzil -isotiosianat (4-(α -L-rhamnopyranosyloxy) benzyl isothiocy-anate) yang memiliki aktivitas anti mikroba [30] dan .



Gambar 1 a). Serbuk biji kelor, b). karbon aktif tempurung kelapa, c). *poly-vinyl-alcohol* (PVA), d). *serisin*

Karbon aktif merupakan padatan berpori yang mengandung 85%-95% karbon. Karbon aktif tempurung kelapa (lihat gambar 1b) unggul karena memiliki makropori yang kecil sehingga baik untuk adsorpsi gas/uap dan untuk menghilangkan warna dan bau senyawa . Disamping itu memiliki berat antara 15-19% berat total buah kelapa [31]. *Serisin* merupakan zat yang terkandung dalam *Silk cocoon* sebesar 20-30%. [16, 17]

Serisin (lihat gambar 1d) terdiri dari 70% asam amino hidrofilik, asam amino hidrofobik kurang dari 20% [32]. PVA merupakan salah satu polimer hidrofilik berbentuk bubuk halus, berwarna putih kekuningan, tidak berbau dan memiliki sifat fisik yang elastis, tidak korosif, lembut dan bersifat adesif. PVA memiliki karakteristik yaitu densitas 1,3 gram/cm³ pada 20°C dengan kisaran pH 3,5–7,0 jika dilarutkan dengan konsentrasi 40 gram/liter .

Berdasarkan pada ASTM D 3171 membran bio-hibrid komposit dirancang berdasarkan persamaan :

$$W_c = W_f + W_m \quad (1)$$

fraksi berat fiber dan matrik adalah:

$$W_f = \frac{w_f}{w_c} = \frac{\rho_f}{\rho_c} \cdot V_f, \quad (2)$$

$$W_m = \frac{w_m}{w_c} = \frac{\rho_m}{\rho_c} \cdot V_m$$

Kemudian density untuk material komposit berdasarkan pada fraksi berat adalah ditentukan dengan persamaan matematik:

$$\rho_c = \frac{1}{\left(\frac{W_f}{\rho_f}\right) + \left(\frac{W_m}{\rho_m}\right)} \quad (3)$$

Dimana: w_f adalah berat fiber, ρ_f adalah massa jenis serat, v_f adalah volume serat, V_f adalah fraksi volume serat.

Pengujian tarik dilakukan untuk mengetahui tegangan, regangan, modulus elastisitas bahan. Pengujian tarik dilakukan menurut standar ASTM D638 dan mengacu ASTM D882 untuk material plastik tipis ataupun membran. Hubungan linier antara tegangan regangan membran dinyatakan sebagai:

$$\sigma = \frac{P}{A} \quad (4)$$

Modulus of elasticity dihitung dengan menggunakan persamaan:

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} \quad (5)$$

Swelling adalah peningkatan volume atau berat suatu material pada saat kontak dengan cairan, gas, atau uap. Pengujian ini dilakukan untuk memprediksi ukuran zat yang bisa terdifusi melalui material tertentu. Pengujian swelling sangat berpengaruh pada sifat fisika suatu material yaitu tahanan putus (*resistance at break*) dan pengaruh kuantitas tetesan air saat membran digunakan.

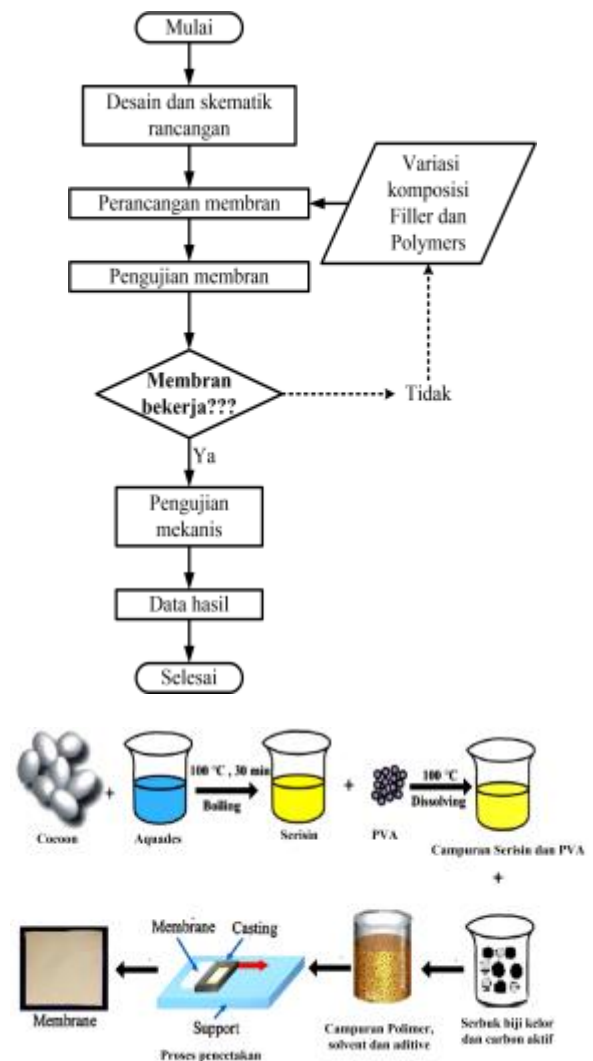
$$Swelling = \frac{W_{c \text{ basah}} - W_{c \text{ kering}}}{W_{c \text{ kering}}} \times 100\% \quad (6)$$

Membran MF komposit bio-hibrida dibentuk dengan menggunakan teknik *casting*. Komposisi membran komposit bio-hibrid adalah didasarkan pada rasio fraksi berat seperti ditunjukkan pada Tabel.1.

Tabel 1. Variasi membran Biohibrid komposit

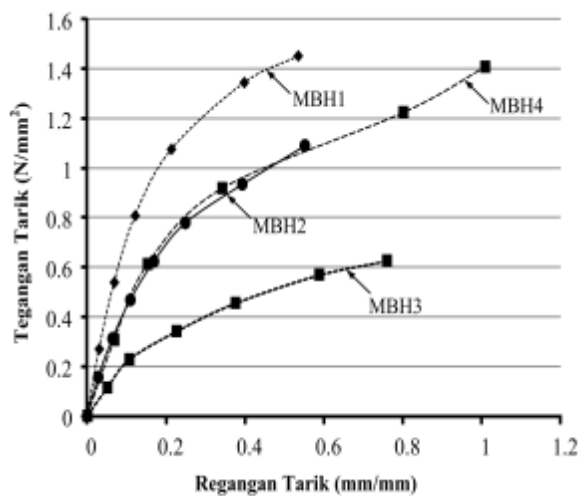
Membran	Variasi	Prosentase bahan (%wt)			
		MO	CA	PVA	SC
M1	MBH1	7.5	22.5	35	35
M2	MBH2	15	15	35	35
M3	MBH3	22.5	7.5	35	35
M4	MBH4	23.1	23.1	70	0

Proses pencetakan MF bio-hibrid ditunjukkan seperti pada Gambar 2a dan 2b.



Gambar 2 a) Diagram alir penelitian, b). proses pencetakan membran MF bio-hibrid komposit.

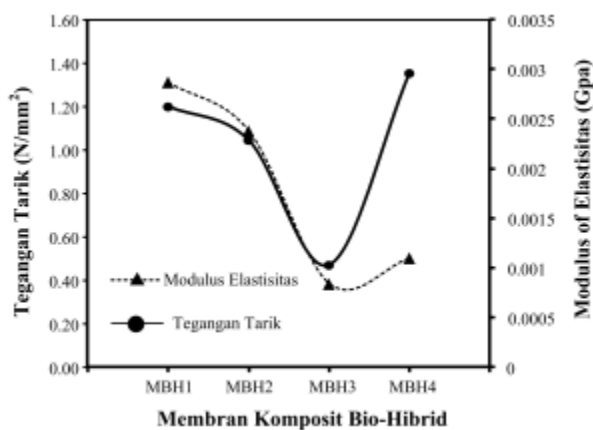
Proses manufaktur.



Gambar 3 Kurva hubungan tegangan-regangan membran bio-hibrid komposit untuk masing-masing variasi

Tabel 2 Nilai Rata-rata tegangan dan modulus elastisitas pembebanan tarik membran bio-hibrid komposit

Specimen	Code	Tegangan (N/mm ²)	Regangan (mm/mm)	Modulus of elastisitas (Gpa)
M1	MBH1	1.20	0.42	0.00287
M2	MBH2	1.05	0.44	0.00238
M3	MBH3	0.47	0.56	0.00084
M4	MBH4	1.35	1.21	0.0011



Gambar 4 Kurva tegangan Tarik dan modulus Elastisitas membran bio-hibrid komposit.

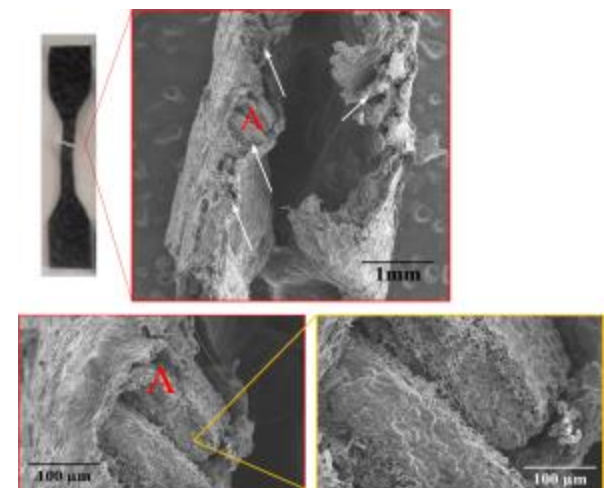
Hasil dan Pembahasan

Gambar 3 menunjukkan kurva tegangan dan regangan pembebanan tarik untuk masing-masing variasi membran komposit bio-hibrid. Dalam pengujian tarik spesimen membran dilakukan *treatment* perendaman pada aquades

selama 20 menit sebelum pengujian tarik. Secara umum tegangan dari masing-masing spesimen adalah linier pada daerah elastis yang dilanjutkan dengan plastis. Pada MBH3 tegangan terjadi adalah relatif rendah dibandingkan dengan variasi membran lainnya, yang disebabkan oleh efek peningkatan jumlah fraksi berat serbuk biji kelor. Rendahnya tegangan pada MBH3 karena serbuk biji kelor masih mengandung selulosa sehingga ikatan antar partikel menjadi rapuh. Sedangkan, membran memiliki sifat ulet yang baik akibat dari sifat PVA. Disini regangan MBH3 lebih panjang dibandingkan dengan MBH1 dan MBH2.

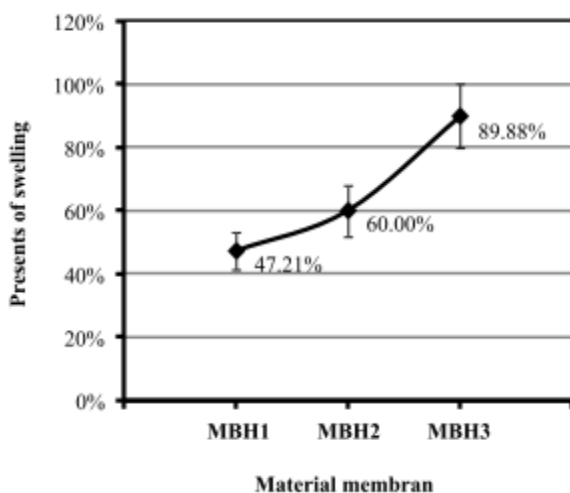
MBH4 adalah membran yang tidak mengandung serisin dan pada uji tarik memiliki tegangan yang hampir sama dengan dengan MBH2 dan jauh lebih tinggi dari MBH1. Tetapi lebih rendah dari pada MBH1 yang memiliki kandungan karbon aktif besar. Disamping itu, regangan dari MBH4 jauh lebih panjang dari pada MBH2 dan MBH3 dan MBH1. Nilai rata-rata hasil pengujian untuk masing-masing variasi membran ditunjukkan pada Tabel 2. Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa serisin sangat berpengaruh pada nilai regangan membran.

Modulus elastisitas dari uji tarik untuk masing-masing variasi membran bio-hibrid adalah paling rendah terjadi pada membran MBH3 (lihat Tabel 2), dibandingkan dengan modulus elastisitas MBH1 dan MBH2 dan MBH4. Korelasi antara tegangan dan modulus elastisitas karena pembebanan tarik untuk setiap variasi adalah ditunjukkan seperti Gambar 4.

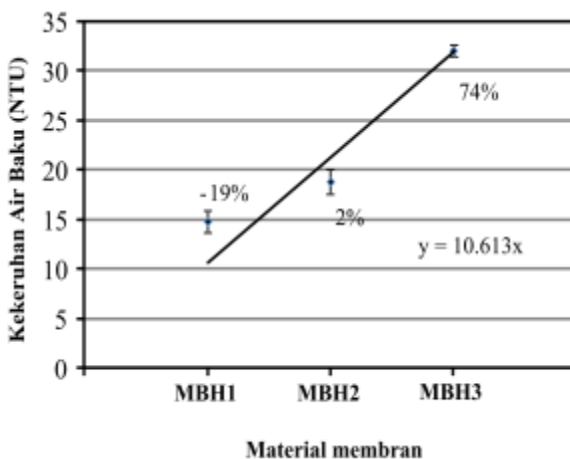


Gambar. 5. Karakteristik Patahan tarik membran komposit bio-hibrid.

Karakteristik patahan membran setelah penarikan (tensile test) yang dianalisa menggunakan SEM pada low magnification adalah ditunjukkan pada gambar 5. Karakteristik patahan menunjukkan dengan jelas bahwa membran komposit bio-hibrid memiliki sifat ductiliti yang tinggi. Disamping itu, moringa memiliki pori yang cukup signifikan untuk menyerap polutan yang terkandung dalam air khususnya microba.



Gambar 6 prosentase swelling membran komposit bio-hibrid



Gambar 7 Kekeruhan air baku

Swelling karakteristik membran bio-hibrid komposit adalah ditunjukkan seperti pada gambar 6. Swelling pada membran pasca filtrasi dengan alat *dead end filtration* menunjukkan bahwa sebak biji kelor (*moringa olifera*) memberikan dampak signifikan pada

berat membran setelah proses filtrasi selama 2 jam. Hal ini dibuktikan pada spesimen MBH3 dengan komposisi 35wt% PVA, 35wt% Serisin, 22.5 wt% Moringa, dan 7.5 wt% AC mengalami peningkatan berat rata-rata sebesar 81,46%. Kemudian spesimen MBH2 meningkat sebesar 60.00%, dan spesimen MBH1 sebesar 47,21% terhadap berat kering membran. Hasil ini menunjukkan adanya sifat *hydrophilicity*, sehingga sangat baik untuk membran absorption.

Gambar 7 menunjukkan karakteristik membran terhadap kekeruhan air baku yang diujikan dengan test turbidity. Dari proses filtrasi menggunakan alat *dead end filtration*, selama 2 jam pengujian telah dihasilkan terdapat beberapa data indikator penting dari kekeruhan (*turbidity*) dan data parameter mikrobiologi (*Coliform* dan *Fecal coliform*).

Nilai kekeruhan MBH2 cenderung meningkat yaitu 18,81 NTU naik 2% terhadap air baku pra perlakuan. MBH3 memiliki nilai kekeruhan tertinggi dengan nilai rata-rata 32,04 NTU naik 74%. Hal ini dipengaruhi oleh masa PVA terlarut [33] sehingga menjadikan air bertambah keruh. Kekeruhan pada membran MBH3 juga dikarenakan oleh rendahnya braf fraksi carbon aktif temuprung kelapa. Sebaliknya untuk MBH1 dengan kandungan karbon yang tinggi mampu menurunkan kekeruhan air baku hingga 19% terhadap kontrol yaitu dengan nilai rata-rata 14,82 NTU.

Kesimpulan

Membran *hybrid* komposit *Silk sericin* /*Polyvinyl alcohol* berpenguat bubuk biji kelor/karbon aktif arang tempurung kelapa sebagai membran MF untuk penjernih air permukaan telah dirancang menggunakan teknik casting. Dapat disimpulkan bahwa :

1. Komposisi hybrid komposit dengan ratio fraksi berat 70 wt% matriks : 30 wt% penguat dan 53,5 wt% matrik/46,15 wt% penguat dibutuhkan media pelarut PVA yang terlarut pada aquades 5:1 (PVA) dengan suhu stiring 75°C.
2. Desain membran yang dihasilkan memiliki ketebalan 1,06 - 1,51 mm.

3. Sifat mekanis membran berserisin diperoleh fakta bahwa kenaikan wt% karbon aktif tempurung kelapa memberikan pengaruh kekuatan mekanis yang signifikan terhadap membran komposit biohibrid komposit.
4. Membran dengan fraksi berat karbon aktif tempurung kelapa terbesar (MBH1) memberikan pengurangan kekeruhan air terbaik dibandingkan MBH2 MBH2 dan MBH4, yang disebabkan oleh sifat karbon aktif menyerap bau dan warna. Sebaliknya pada membran dengan karbon aktif yang rendah kekeruhan meningkat karena pengaruh dari sifat serisin yang mudah larut dalam air.
5. Membran MF komposit bio-hibrid telah menjadi salah satu alternatif dalam proses pengendalian kualitas air permukaan karena bersifat alami dan mudah dalam proses fabrikasi.

Ucapan Terimakasih.

Penelitian mengucapkan terimakasih kepada LLPM UNUD dan Kemenristek Dikti atas pendanaan penelitian Desentralisasi pada skim Hibah Bersaing dengan kontrak nomor: 486.4/UN14.2/ PNL.01.03.00/2016.

Referensi

- [1] S.S. Madaeni., "The application of membrane technology for water disinfection," *Wat. Res*, vol. 33, No. 2, (1999), pp. 301-308.
- [2] S.B. Sadr Ghayeni, S.S. Madaeni, A.G. Fane, and R.P. Schneider., "Aspects of microfiltration and reverse osmosis in municipal wastewater reuse," *Desalination*, vol. 106, (1996), pp. 25-29.
- [3] N. Arahman., "Konsep dasar proses pembuatan membran berpori dengan metode non-solvent induced phase separation - penentuan cloud point dan diagram tiga fasa," *Jurnal Rekayasa Kimia dan Lingkungan*, vol. 9, No. 2, (2012), pp. 68 - 73.
- [4] P.A. Shivajirao, "Treatment of distillery wastewater using membrane technologies," *International Journal of Advanced Engineering Research and Studies (IJAERS)*, vol. I, (2012), pp. 275-283.
- [5] M. Mulder., *Basic principles of membrane technology*, 2nd edition ed.: Dordrecht: Kluwer Academic Publisher, 1996.
- [6] M. Padaki, R. Surya Murali, M.S. Abdullah, N. Misdan, A. Moslehyani, M.A. Kassim, N. Hilal, and A.F. Ismail, "Membrane technology enhancement in oil-water separation. A review," *Desalination*, vol. 357, (2015), pp. 197-207.
- [7] Emelie Arnoldsson, Maria Bergman, Nelson Matsinhe, and A.K.M. Persson., "Assessment of drinking water treatment using moringa oleifera natural coagulant," *VATTEN*, vol. 64, (2008), pp. 137-150.
- [8] Eman N. Ali, Suleyman A. Muyibi, Hamzah M. Salleh, Mohd Ramlan M. Salleh, and A.M.Z. Alam., "Moringa oleifera seeds as natural coagulant for water treatment," *Thirteenth International Water Technology Conference, IWTC 13 Hurghada, Egypt*, (2009) pp. 163-168.
- [9] J. Sánchez-Martín, "Surfactant-polluted surface water treatment with moringa oleifera seed extract," *Water Practice and Technology*, vol. 5, (2010), pp. 1-10.
- [10] Tambak Manurung, Yusriani Sapta Dewi, and B. J.Lekatompeppy, "Efektivitas biji kelor (moringa oleifera) pada pengolahan air sumur tercemar limbah domestik," *Jurnal Ilmiah Fakultas Teknik LIMIT'S*, vol. 8 Nomor 1 (2012), pp. 37 - 46.
- [11] Syahru Ramadhani, Alexander Tunggul Sutanhaji, and D.B.R. Widiatmono, "Perbandingan efektivitas tepung biji kelor (moringa oleifera lamk), poly aluminium chloride (pac), dan tawas sebagai koagulan untuk air jernih," *Jurnal Keteknikan Pertanian Tropis dan Biosistem*, vol. Vol. 1 No. 3, (2013), pp. 186-193.
- [12] R.S. Ferreira, T.H. Napoleao, A.F. Santos, R.A. Sa, M.G. Carneiro-Da-Cunha, M.M. Morais, R.A. Silva-Lucca, M.L. Oliva, L.C. Coelho, and P.M. Paiva, "Coagulant and antibacterial activities of the water-soluble seed lectin from moringa

- oleifera," *Lett Appl Microbiol*, vol. 53, (2011), pp. 186-192.
- [13] Neeraj Agnihotri, Vinay Kumar Pathak, Naseema Khatoon, and M. Rahman., "Removal of fluoride from water by moringa oleifera seed residue after oil extraction," *International Journal Of Scientific & Engineering Research*, vol. 4, (2013), pp. 106-110.
- [14] Ana Paula Meneghel, Affonso Celso Gonçalves Jr, Leonardo Strey, Fernanda Rubio, and D.S.a.J. Casarin., "Biosorption and removal of chromium from water by using moringa seed cake (*moringa oleifera lam.*)," *Quim. Nova*, vol. 36, No. 8, (2013), pp. 1104-1110.
- [15] S. Wang, Z.H. Zhu, A. Coomes, F. Haghseresht, and G.Q. Lu, "The physical and surface chemical characteristics of activated carbons and the adsorption of methylene blue from wastewater," *J Colloid Interface Sci*, vol. 284, (2005), pp. 440-446.
- [16] F.V. Da Silva, N.U. Yamaguchi, G.A. Lovato, F.A. Da Silva, M.H. Reis, M.T. De Amorim, C.R. Tavares, and R. Bergamasco, "Effects of coconut granular activated carbon pretreatment on membrane filtration in a gravitational driven process to improve drinking water quality," *Environ Technol*, vol. 33, (2012), pp. 711-716.
- [17] A.E. Eltom, M.P. Fournier Lessa, M.J. Da Silva, and J.C. Da Rocha, "Production & characterization of activated carbon membranes," *Journal of Materials Research and Technology*, vol. 1, (2012), pp. 80-83.
- [18] Bernard E, Jimoh A, and J.O. Odigure., "Heavy metals removal from industrial wastewater by activated carbon prepared from coconut shell," *Research Journal of Chemical Sciences*, vol. 3, (2013), pp. 3-9.
- [19] Gilar S. Pambayun, Remigius Y.E. Yulianto, M. Rachimoellah, and E.M.M. Putri., "Pembuatan karbon aktif dari arang tempurung kelapa dengan aktivator ZnCl_2 dan Na_2CO_3 sebagai adsorben untuk mengurangi kadar fenol dalam air limbah," *JURNAL TEKNIK POMITS*, vol. 2, No. 1, (2013), pp. 116-120.
- [20] C. Song, S. Wu, M. Cheng, P. Tao, M. Shao, and G. Gao, "Adsorption studies of coconut shell carbons prepared by koh activation for removal of lead(ii) from aqueous solutions," *Sustainability*, vol. 6, (2013), pp. 86-98.
- [21] Haryadi, Riniati, Sofiatun Anisa, and A. Utami., "Preparation of sulfonated pva-tmsp membranes for direct methanol fuel cell " *Makara Journal of Science*, vol. 16/2, (2012), pp. 95-100.
- [22] S. Khoonsap, N. Supanchaiyamat, A.J. Hunt, S. Klinsrisuk, and S. Amnuaypanich, "Improving water selectivity of poly (vinyl alcohol) (pva) – fumed silica (fs) nanocomposite membranes by grafting of poly (2-hydroxyethyl methacrylate) (phema) on fumed silica particles," *Chemical Engineering Science*, vol. 122, (2015), pp. 373-383.
- [23] V. Ravindran, H.-H. Tsai, M.D. Williams, and M. Pirbazari, "Hybrid membrane bioreactor technology for small water treatment utilities: Process evaluation and primordial considerations," *Journal of Membrane Science*, vol. 344, (2009), pp. 39-54.
- [24] M. Xu, X. Wen, Z. Yu, Y. Li, and X. Huang, "A hybrid anaerobic membrane bioreactor coupled with online ultrasonic equipment for digestion of waste activated sludge," *Bioresour Technol*, vol. 102, (2011), pp. 5617-5625.
- [25] C. Stoquart, P. Servais, P.R. Bérubé, and B. Barbeau, "Hybrid membrane processes using activated carbon treatment for drinking water: A review," *Journal of Membrane Science*, vol. 411-412, (2012), pp. 1-12.
- [26] T. Siritientong and P. Aramwit, "A novel silk sericin/poly (vinyl alcohol) composite film crosslinked with genipin: Fabrication and characterization for tissue engineering applications," *Advanced Materials Research*, vol. 506, (2012), pp. 359-362.
- [27] C. Santos, C.J. Silva, Z. Buttel, R. Guimaraes, S.B. Pereira, P. Tamagnini,

- and A. Zille, "Preparation and characterization of polysaccharides/pva blend nanofibrous membranes by electrospinning method," *Carbohydr Polym*, vol. 99, (2014), pp. 584-592.
- [28] Soumya Pandit, Santimoy Khilari, Kaustav Bera, Debabrata Pradhan, and D. Das., "Application of pva-pdda polymer electrolyte composite anion exchange membrane separator for improved bioelectricity production in a single chambered microbial fuel cell," *Chemical Engineering Journal*, vol. 257, (2014), pp. 138-147.
- [29] Abdulhakim. M. Alamaria, M. Ghazali. M. Nawawi, and Z. Zamrud., "Sago/pva blend membranes for the recovery of ethyl acetate from water," *Arabian Journal of Chemistry*, vol. xxx, (2015), pp. xxx-xxx.
- [30] B.B.A. Bhoomika R Goyal, Ramesh K Goyal and Anita a Mehta, "Phyto-pharmacology of moringa oleifera lam," *Natural Product Radiance*, vol. Vol. 6(4), (2007).
- [31] Frischa Marcheliana Wachid and Darminto., "Analisis fasa karbon pada proses pemanasan tempurung kelapa," *JURNAL TEKNIK POMITS*, vol. 1, No. 1, (2012), pp. 1-4.
- [32] N. Namviriyachote, N. Bang, and A.P. Aramwit, "Sericin film: Influence of concentration on its physical properties," *International Scholarly and Scientific Research & Innovation*, vol. 3, No. 8, (2009), pp. 0-24.
- [33] Jatindranath Maiti, Nitul Kakati, Seok Hee Lee, Seung Hyun Jee, Balasubramanian Viswanathan, and Y.S. Yoon., "Where do poly(vinyl alcohol) based membranes stand in relation to nafion for direct methanol fuel cell applications?," *Journal of Power Sources*, vol. 216, (2012), pp. 48-66.