

MAKALAH KOLOKIUUM KIMIA
SINTESIS MEMBRAN KITOSAN TERMODIFIKASI SILIKA ABU DAUN
SALAK UNTUK PENURUNAN FOSFAT DALAM LARUTAN



Disusun oleh :

Dian Khoirun Nisya' (20472011004)

PROGRAM STUDI KIMIA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNIK
UNIVERSITAS BOJONEGORO

2023

DAFTAR ISI

COVER MAKALAH.....	i
DAFTAR ISI.....	ii
DAFTAR GAMBAR	iv
RINGKASAN	v
BAB I	1
PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian.....	3
BAB II.....	4
PEMBAHASAN	4
2.1 Tinjauan Pustaka	4
2.1.1 Salak.....	4
2.1.2 Silika	5
2.1.3 Kitosan	6
2.1.4 Membran	7
2.1.5 Adsorpsi	9
2.1.6 Fosfat.....	9
2.2 Hipotesa.....	10
2.2.1 Hipotesa 1	10
2.2.2 Hipotesa 2	11
2.2.3 Hipotesa 3	11
2.3 Rancangan Aktivitas.....	12
2.3.1 Sintesis dan Karakterisasi Silika Daun Salak.....	13
2.3.2 Pembuatan Larutan Natrium Silikat (Na_2SiO_3).....	13
2.3.3 Pembuatan Larutan Kitosan	13
2.3.4 Sintesis dan Karakterisasi Membran Kitosan-Silika.....	13
2.3.5 Uji Swelling Membran Kitosan-Silika.....	14
2.3.6 Uji Fluks Membran Kitosan-Silika	14

2.3.7	Pembuatan Larutan Fosfat.....	14
2.3.8	Adsorpsi Fosfat Dengan Membran Kitosan-Silika	15
2.3.9	Readsorpsi Fosfat Dengan Membran Kitosan-Silika.....	15
BAB III		16
KESIMPULAN		16
3. 1	Karakteristik Silika Abu Daun Salak	16
3. 2	Karakterisasi Membran Kitosan-Silika	16
3. 3	Adsorpsi Fosfat dengan Membran Kitosan-Silika	17
DAFTAR PUSTAKA		18

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Pohon Salak.....	4
Gambar 2. 2 Struktur Kitosan	6

RINGKASAN

Studi tentang penambahan silika abu daun salak dalam membran kitosan untuk proses adsorpsi fosfat dalam larutan telah dilakukan. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh penambahan silika abu daun salak terhadap karakteristik membran kitosan-silika untuk adsorpsi fosfat. Sintesis membran dilakukan dengan variasi perbandingan volume kitosan dengan larutan natrium silikat yaitu 1:0; 1:0,5; 1:1; 1:1,5; 1:2 membentuk 100 mL campuran larutan kitosan-silika. Silika abu daun salak memiliki pola XRD SiO_2 dengan refleksi yang luas berkisar antara $22-25^\circ$, ini adalah karakteristik silika amorf. Sintesis membran kitosan-silika dikarakterisasi gugus fungsinya menggunakan FTIR, SEM, uji fluks, uji *swelling* dan penentuan rejeksi membran. Hasil karakterisasi FTIR menunjukkan adanya gugus fungsi Si—O, gugus Si—OH dan gugus $-\text{NH}_2$, yang menunjukkan bahwa di dalam membran kitosan-silika terjadi interaksi antara kitosan yang mempunyai kerapatan tinggi dengan silika yang ditambahkan. Membran kitosan-silika dengan perbandingan 1:2 mempunyai koefisien rejeksi terbesar dikarenakan konsentrasi silika yang paling banyak dan pori-pori membran yang terbentuk kecil sehingga terjadi interaksi lebih antara fosfat dengan membran kitosan-silika.

kata kunci : *membran kitosan-silika., fosfat., adsorpsi.*

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Berdasarkan data dari Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (2020) sebesar 59% sungai di Indonesia dalam kondisi tercemar berat, 26,6% cemar sedang dan 8,9% cemar ringan. Kualitas air di Indonesia bisa dikatakan masih belum terlalu baik. Air rentan terhadap polusi, karena air dikenal sebagai pelarut universal yang mampu melarutkan lebih banyak zat daripada cairan lain, itu sebabnya air mudah tercemar (Andianti dkk., 2020). Fosfat menjadi salah satu unsur penting yang berperan dalam pertumbuhan dan perkembangan dari setiap organisme. Fosfat adalah komponen dari banyak senyawa penting secara biologis, seperti DNA, RNA, ATP, dan fosfolipid. Selain itu fosfat banyak digunakan sebagai pupuk, bahan peledak, pestisida serta deterjen. Fosfat dalam air berbentuk ortofosfat (PO_4) kandungan fosfat dalam perairan kebanyakan berasal dari limbah pupuk pada pertanian, kotoran manusia dan hewan, industri pulp dan kertas serta limbah rumah tangga dari sabun dan deterjen (Gebus-Czupyt & Wach, 2022).

Biota air membutuhkan kadar fosfat untuk kehidupannya, namun jika dalam konsentrasi yang berlebihan akan menimbulkan dampak yang berbahaya. Kelebihan kandungan fosfat dalam air dapat menyebabkan peningkatan eutrofikasi, yaitu peningkatan produktivitas fitoplankton yang disebabkan oleh meningkatnya unsur nutrient yang dapat merusak kualitas air dan keseimbangan ekologis. Polusi nutrien suatu bentuk pencemaran air adalah penyebab utama eutrofikasi air permukaan, di mana kelebihan nutrien, biasanya nitrogen atau fosfor, merangsang pertumbuhan alga dan tanaman air (Le Moal dkk., 2019). Beberapa metode yang digunakan untuk menurunkan senyawa fosfat antara lain, adsorpsi, filtrasi (Rohmah, 2021), fitoremediasi (Sari dkk., 2021), koagulasi (Prihatin dkk., 2021), fotokatalisis (Suryandari dkk., 2019).

Metode adsorpsi memiliki kelebihan yaitu menggunakan bahan kimia yang sedikit, biaya yang relatif rendah, efisiensi daya serap yang tinggi, laju penghilangan yang cepat dan dapat diregenerasi, adsorpsi dianggap sebagai metode terbaik untuk menghilangkan fosfat (He dkk., 2022). Penelitian ini menggunakan membran sebagai media adsorpsi, sistem hibrid adsorpsi-membran telah berhasil digunakan untuk meningkatkan kinerja membran terutama dengan meningkatkan penghilangan kontaminan dan mengurangi pengotor membran. Adsorpsi digunakan sebagai metode pra-perlakuan untuk meningkatkan penghilangan kontaminan dan mengontrol aliran selama membran penyaringan untuk menghilangkan kontaminan anorganik dan organik khususnya senyawa fosfat (Kim dkk., 2022). Sedangkan membran berfungsi sebagai penghalang tipis yang selektif diantara dua fasa dengan hanya melewatkan komponen tertentu, dan menahan komponen yang lainnya. Membran memiliki keunggulan dibandingkan dengan teknik pemisahan lainnya, karena memerlukan energi yang lebih rendah

untuk operasi dan pemeliharaan, peralatannya murah, dan tidak butuh kondisi ekstrim (Lusiana dkk., 2019).

Kitosan adalah salah satu biomaterial yang dapat digunakan untuk pembuatan membran. Sifat *biodegradable* yang dimiliki kitosan, merekomendasikan penggunaan senyawa ini dalam industri ramah lingkungan. Selain beberapa kelebihan tersebut, membran berbahan dasar kitosan memiliki beberapa kekurangan yaitu membran yang dihasilkan kurang berpori dan masih bisa ditingkatkan hidrofilitasnya sehingga jika diaplikasikan untuk dialisis yang didapatkan masih kurang optimal. Modifikasi kitosan diharapkan dapat menghasilkan membran dengan karakter yang lebih baik (Lusiana dkk., 2019).

Modifikasi membran kitosan telah dilakukan oleh beberapa peneliti dengan menggunakan material seperti, urushiol (Jie dkk., 2023) polietersulfonat (Mozafari dkk., 2019), dan graphene oksida (Vo dkk., 2022). Silika juga merupakan salah satu material pendukung yang dapat digunakan untuk modifikasi membran kitosan. Penggunaan membran kitosan termodifikasi silika telah dilakukan oleh Pradiana (2021) sebagai adsorben dalam pengambilan sampel gas NO₂. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa massa optimum adsorben kitosan silika (2:1), kitosan silika (2:1) griess saltzman, kitosan silika (3:1), dan kitosan silika (3:1) griess Saltzman yaitu dapat mengadsorpsi gas NO₂ secara optimum pada massa 0,1 gram. Penelitian lain dilakukan oleh Valentine (2019) yaitu sintesis membran kitosan-silika abu sekam padi untuk penurunan logam berat Cu dengan proses ultrafiltrasi. Hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa Kenaikan berat molekul silika berpengaruh terhadap efisiensi penyisihan logam tembaga (Cu) dimana nilai rejeksi yang diperoleh semakin besar. Uji kinerja membran terhadap logam Cu mempunyai nilai rejeksi yaitu 38%, 39%, 46% dan 62%. Selain itu silika merupakan pendukung yang ideal karena stabil pada kondisi asam, *nonswelling*, dapat meningkatkan selektivitas membran, dan tahan terhadap panas. Penambahan silika dalam biomaterial kitosan dapat meningkatkan permeabilitas terhadap oksigen, serta ketahanan fisik terhadap suhu tinggi (Muljani dkk., 2018). Sumber silika biogenik berasal dari limbah pertanian seperti, abu sekam padi, abu daun bambu dan sumber biomassa selulosa lainnya. Dari penelitian Kajian Mikroskop Elektron pada daun salak (*Salacca zalacca*) yang dilakukan oleh Agus Triawan (2021) pada bagian daun salak menunjukkan adanya karbon (55,73%), oksigen (23,28%), silika (20,36%) komponen lain seperti Cl dan K (0,63%). Kadar silika yang tinggi dapat dimanfaatkan sebagai bahan untuk membuat material yang berbasis silika. Pemanfaatan tersebut dapat digunakan dalam pembuatan membran silika abu daun salak. Selain itu populasi pohon salak di Indonesia sangat melimpah, murah dan mudah didapatkan.

Karakterisasi XRD, FTIR, SEM dan Spektrofotometer UV-Vis dilakukan untuk mengetahui sifat membran kitosan termodifikasi silika abu daun salak yang akan diaplikasikan pada limbah fosfat dalam larutan.

1.2 Rumusan Masalah

1. Bagaimana karakteristik dari silika abu daun salak?
2. Bagaimana pengaruh penambahan silika abu daun salak terhadap karakterisasi membran kitosan-silika?
3. Berapakah kadar fosfat dalam larutan yang dapat diadsorpsi oleh membran kitosan termodifikasi silika abu daun salak?

1.3 Tujuan Penelitian

1. Untuk mengetahui karakteristik dari silika abu daun salak.
2. Untuk mengetahui pengaruh penambahan silika silika abu daun salak terhadap karakterisasi membran kitosan-silika.
3. Untuk mengetahui kadar fosfat dalam larutan yang dapat diadsorpsi oleh membran kitosan termodifikasi silika abu daun salak.

BAB II PEMBAHASAN

2.1 Tinjauan Pustaka

2.1.1 Salak

Budidaya tanaman salak dikenal luas di Indonesia sejak jaman penjajahan Belanda. Dalam bahasa Inggris buah ini disebut dengan *snake fruit*, dikarenakan kulitnya yang mirip dengan sisik ular. Salak (*salacca zalacca*) merupakan sejenis palma dengan buah yang dapat dimakan. Tanaman salak memiliki daun majemuk dengan bentuk menyirip dan panjang kira-kira 3-7 m, tangkai daun pelepah serta anak daun berduri panjang, tipis dan banyak, duri tanaman salak berwarna kelabu sampai kehitaman. Anak daun bentuknya lanset dengan ujung meruncing berukuran sekitar 8 x 85 cm, Tanaman salak juga memiliki akar serabut dengan sistem perakaran dangkal sampai sedang, atau dengan kata lain bahwa penetrasi akar salak hanya mencapai kedalaman 10 cm hingga 50 cm (Zuliatin & Faizah, 2021).



Gambar 2. 1 Pohon Salak

Abu daun salak merupakan hasil dekarbonisasi daun salak, pada proses ini senyawa-senyawa seperti hemiselulosa, selulosa dan lain-lain akan diubah menjadi CO_2 dan H_2O . Kajian Mikroskop Elektron pada daun salak (*Salacca zalacca*) yang dilakukan oleh Agus Triawan (2021) pada bagian daun buah salak menunjukkan adanya karbon (55,73%), oksigen (23,28%), silika (20,36%) komponen lain seperti Cl dan K (0,63%). Sedangkan sisi dalam mengandung beberapa unsur seperti karbon (46,40%), oksigen (50,43%) dan komponen lain seperti Ca, K, Cl, Na, Mg, S, Al (3,17%). Berdasarkan hasil tersebut, berarti daun salak mengandung hidrokarbon dengan senyawa silikon di bagian luarnya. Difraktogram daun salak yang dikalsinasi pada suhu 500 °C menunjukkan karbon dan kuarsa silika. Analisis EDX di area terpilih memastikan komposisi karbon oksigen, silikon, dan komponen lainnya. Berdasarkan penelitian yang

telah dilakukan, diketahui bahwa daun salak berpotensi sebagai sumber bahan karbon dan silika (Agus Triawan dkk., 2021).

2.1.2 Silika

Silika merupakan serangkaian mineral yang terdiri oleh satu atom silikon (Si) dan dua atom oksigen O_2 . Oksigen (O_2) adalah bagian yang paling banyak di permukaan bumi ini, sedangkan silika merupakan bagian terbanyak kedua yang tersedia pada permukaan bumi. Secara alami silika terdapat dalam bentuk kristalin dan *amorfus*. Kristalin silika terdapat dalam 3 bentuk utama, yaitu kuarsa, tridimit dan kristobalit. Sedangkan struktur *amorfus* dapat ditemukan dalam bentuk opal, *flint*, kaca silika, *diatomaceous earth* dan *vitreous silica* (Purnawan dkk., 2018). Pada silika terkandung gugus silanol (gugus OH) sehingga lebih *hydrous*. Selain itu silika juga mempunyai luas permukaan yang cukup tinggi, yang dapat diaplikasikan sebagai adsorben (Elma dkk., 2019). Silika bersifat non konduktor, memiliki ketahanan yang baik terhadap oksidasi dan degresi termal (Muljani dkk, 2018). Silika berbasis bahan alam merupakan hal yang menarik untuk diteliti karena memanfaatkan bahan alam yang melimpah yang dapat dimanfaatkan sebagai material teknologi tinggi.

Silika gel merupakan suatu material yang mempunyai banyak kegunaan, salah satunya adalah sebagai penyerap air karena memiliki pori-pori dengan sifat mekanik yang kuat juga gugusgugus hidroksil yang dapat berinteraksi dengan molekul-molekul air (Fathurrahman dkk., 2022). Silika gel merupakan salah satu bentuk silika amorf yang paling luas penggunaannya karena silika gel memiliki kemampuan menyerap air. Hal ini disebabkan silika gel sangat berpori dan memiliki Gugus Si-OH dipermukaannya sehingga mudah menyerap air. Partikel silika gel adalah inti yang terdiri dari atom silikon yang terikat bersama silikon lain oleh adanya atom oksigen dengan ikatan siloksan (Si–O–Si) sehingga pada permukaan tiap partikel primer terdapat gugus –OH yang tidak terkondensasi yang berasal dari monomer asam silikat. Gugus –OH yang kemudian dikenal dengan gugus silanol inilah yang memberikan sifat polar pada silika gel dan merupakan sisi aktif silika gel (Meidinariasty dkk., 2020).

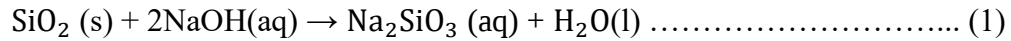
Silika gel merupakan suatu bentuk dari silika yang dihasilkan melalui penggumpalan sol natrium silikat ($NaSiO_2$). Sol mirip agar – agar ini dapat didehidrasi sehingga berubah menjadi padatan atau butiran mirip kaca yang bersifat tidak elastis. Sifat ini menjadikan silika gel dimanfaatkan sebagai zat penyerap, pengering dan penopang katalis. Garam – garam kobalt dapat diabsorpsi oleh gel ini (Utari dkk., 2020).

Pembuatan silika gel dapat dilakukan melalui beberapa tahap, yaitu:

- Pembentukan natrium silikat Na_2SiO_3 dari reaksi SiO_2 dengan NaOH
- Reaksi pembentukan silika hidrosol dari reaksi antara Na_2SiO_3 dengan asam
- Polimerisasi asam silikat membentuk silika hydrogel

d. Pemanasan silika hidrogel menjadi silika gel.

Dari reaksi silika dengan natrium hidroksida akan dihasilkan natrium silikat yang larut dalam air, reaksi yang terjadi sebagai berikut:



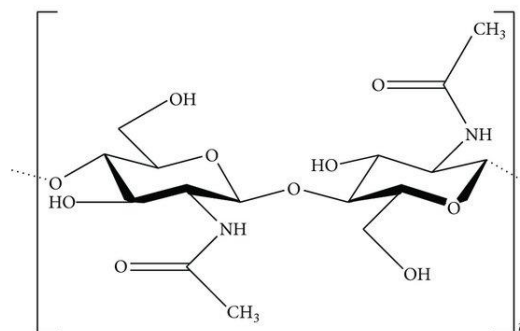
Pengasaman terhadap larutan natrium silikat dengan asam klorida akan membentuk silika hidrosol yang apabila didiamkan akan membentuk hidrogel, reaksi yang terjadi adalah sebagai berikut :



Pemanasan pada suhu 110°C mengakibatkan dehidrasi pada hidrogel dan terbentuklah silika gel ($\text{SiO}_2 \cdot x\text{H}_2\text{O}$) dengan kandungan air yang bervariasi (Meidinariasty dkk., 2020).

2.1.3 Kitosan

Kitosan [poli-(1-4)-2-amino-2-deoksi-D-glukosa] merupakan salah satu biopolimer yang paling melimpah di alam dan produk deasetilasi kitin yang diperoleh dari cangkang artropoda dan krustasea, seperti sotong, udang, lobster dan kepiting. Kitosan telah digunakan sebagai pendukung imobilisasi enzim karena sifat-sifatnya yang sangat baik seperti biokompatibilitas, ketersediaan mudah, sifat antibakteri, biodegradabilitas, tidak beracun, kelembaman fisiologis, hemostatik, fungistatik, antikarsinogenik, sifat antikolesteremia, kekuatan mekanik yang tinggi, hidrofilitas dan peningkatan stabilitas. Demikian pula kitosan memiliki gugus fungsi reaktif (NH_3^+ dan COOH^-) yang rentan terhadap perlakuan kimia dan mampu berikatan secara kovalen dengan protein (Lusiana dkk, 2019).



Gambar 2. 2 Struktur Kitosan

Kitosan merupakan suatu amina polisakarida hasil proses deasetilasi kitin. Karena mempunyai sifat non-toksik, hidrofilitas dan *biodegradable*, kitosan sering dimanfaatkan sebagai membran.pembuatan membran kitosan relatif lebih sederhana dibandingkan dengan pembuatan membran sintesis. Sifat *biodegradable* yang dimiliki kitosan, merekomendasikan penggunaan senyawa ini dalam industri ramah lingkungan. Selain beberapa kelebihan tersebut,

membran berbahan dasar kitosan memiliki beberapa kekurangan yaitu membran yang dihasilkan kurang berpori dan masih bisa ditingkatkan hidrofilitasnya sehingga jika diaplikasikan untuk dialisis yang didapatkan masih kurang optimal. Modifikasi kitosan diharapkan dapat menghasilkan membran dengan karakter yang lebih baik (Lusiana dkk, 2019).

2.1.4 Membran

Membran merupakan suatu lapisan tipis yang bersifat permeabel atau semipermeabel yang menghalangi unsur unsur dengan ukuran tertentu untuk melewatinya. Membran menjadi penghalang yang mengontrol transportasi molekul- molekul sehingga terbentuklah permeat yang terbebas dari molekul molekul pengotor. Proses pada membran melibatkan zat cair, gas, dan gaya dorong akibat adanya perbedaan tekanan, konsentrasi dan energi. Membran hanya dilalui oleh pelarut sedangkan zat terlarutnya akan teruraikan oleh struktur pori yang berfungsi sebagai penyaring molekul (Kiswanto dkk., 2019).

2.1.4.1 Klasifikasi Membran

Klasifikasi membran dapat dibagi dengan tiga jenis yaitu gaya dorong tekanan, distribusi pori dan polaritas membran.

a) Berdasarkan gaya dorong tekanan, membran dibedakan menjadi empat yaitu:

1. Mikrofiltrasi: merupakan filtrasi yang digunakan untuk memisahkan partikel yang berukuran antara 0,1 sampai 10 μm .
2. Ultrafiltrasi: merupakan filtrasi membran yang tekanan hidrostatiknya memaksa cairan menembus membran semipermeable. Pemisahan yang dilakukan di industri dan laboratorium pada purifikasi dan pemekatan larutan makromolekul.
3. Nanofiltrasi: adalah filtrasi membran yang sering digunakan dipermukaan air untuk penyisihan kation polivalen.
4. *Reverse Osmosis*: adalah membran filtrasi untuk menghilangkan beberapa jenis molekul dan ion besar dari larutan (Rohmah, 2021).

b) Berdasarkan distribusi pori

Berdasarkan distribusi porinya membran dibagi menjadi 2 yaitu membran berpori (*porous*) dan tidak berpori (*non-porous*). Pada membran *non-porous* senyawa dilewatkan pada membran berdasarkan perbedaan difusivitas senyawa pada membran tersebut, sedangkan pada membran *porous* mekanisme transfer massa didasari pada perbedaan ukuran partikel. Perbedaan ukuran pori pada membran porous menentukan ukuran partikel yang dapat dilewatkan sebagai permeat membran (Rohmah, 2021).

c) Berdasarkan polaritas membran

Polaritas membran terhadap salah satu senyawa tertentu merupakan salah satu faktor yang menentukan selektifitas pada membran. Senyawa yang memiliki ukuran lebih kecil dari pori membran tetapi memiliki polaritas yang berbeda terhadap polaritas permukaan membran maka senyawa tersebut tetap akan tertahan pada permukaan membran. Berdasarkan polaritasnya membran dibagi menjadi 2 jenis yaitu membran hidrofobik dan hidrofilik. Membran hidrofilik memiliki permukaan yang polar dan memiliki afinitas yang tinggi terhadap senyawa polar seperti air. Membran hidrofobik melewatkan senyawa yang bersifat nonpolar dan menolak senyawa yang bersifat polar (Al-Gharabli dkk., 2023).

2.1.4.2 Karakteristik membran

Performa suatu membran ditentukan oleh dua faktor sederhana yaitu fluks (kecepatan aliran permeat) dan selektivitas membran (Kiswanto dkk., 2019).

a) Fluks

Jumlah volume permeat yang melewati satu satuan permukaan luas membran dengan waktu tertentu dengan adanya gaya dorong dalam hal ini berupa tekanan. Jumlah air yang tertampung pada aliran permeat diukur dan besarnya fluks membran dapat dihitung menggunakan persamaan sebagai berikut (Elfiana dkk., 2019).

$$J_v = \frac{V}{A \times t}$$

Keterangan:

- J_v adalah fluks membran ($L/m^2 \cdot jam$)
- V adalah volume permeat
- T adalah waktu pengoperasian

b) Permeselektivitas

Permeselektivitas suatu membran merupakan ukuran kemampuan suatu membran menahan suatu spesi atau melewatkan suatu spesi tertentu lainnya. Permeselektivitas membran tergantung pada interaksi antar muka dengan spesi yang akan melewatinya, ukuran spesi dan ukuran pori permukaan membran. Parameter yang digunakan untuk menggambarkan permeselektivitas membran adalah koefisien rejeksi (R). Koefisien rejeksi adalah fraksi konsentrasi zat terlarut yang tidak menembus membran, dan dirumuskan sebagai berikut (Elfiana dkk., 2019).

$$R = 1 - \frac{c_p}{c_f} \times 100\%$$

Keterangan:

- R = koefisien rejeksi
- C_p = konsentrasi zat terlarut dalam permeat
- C_f = konsentrasi zat terlarut dalam umpan

Dengan harga R berkisar antara 0 sampai 1. Jika harga $R = 1$ berarti zat kontaminan ditahan oleh membran secara sempurna (Elfiana dkk., 2019).

2.1.5 Adsorpsi

Proses pemisahan yang secara konvensional digunakan dalam pengolahan air limbah, meskipun mempromosikan pengurangan konsentrasi, tidak efisien untuk menghilangkan endokrin sepenuhnya. Beberapa metode baru untuk menghilangkan kontaminan yang muncul ini telah dikembangkan dan dievaluasi untuk terus mengurangi muatan zat beracun yang dilepaskan ke lingkungan yaitu proses oksidatif, adsorpsi, pertukaran ion dan pemisahan membran, khususnya *reverse osmosis* dan nanofiltrasi, telah menunjukkan hasil yang menjanjikan. Diantara metode ini, adsorpsi terbukti paling hemat biaya, karena sebagian besar proses lanjutan memiliki kesulitan intrinsik dalam pengoperasiannya, selain menuntut biaya pemeliharaan yang tinggi. Keuntungan lain dari proses adsorptif adalah non-penambahan produk sampingan, yang umum terjadi pada proses oksidatif lanjut (Vieira dkk., 2020).

Adsorpsi merupakan serangkaian proses yang terdiri atas reaksi-reaksi permukaan zat padat (*adsorben*) dengan zat pencemar (*adsorbat*), baik pada fasa cair maupun gas. Adsorpsi adalah metode yang paling disukai untuk berbagai kontaminan organik dan anorganik untuk pengolahan air dan air limbah karena fleksibilitasnya, penerapannya yang luas, praktis dan efisiensi biaya (Kim dkk., 2022).

Proses adsorpsi dapat diklasifikasikan menjadi dua kategori sesuai dengan interaksi adsorbat dan adsorben: adsorpsi fisika dan adsorpsi kimia. Adsorpsi fisika dikatakan dengan gaya antarmolekul yang lemah, seperti gaya elektrostatik dan van der Waals. Adsorpsi kimia melibatkan reaksi kimia antara zat penyerap dan permukaan adsorben. Meskipun ada perbedaan yang jelas di antara mereka, ada kasus-kasus perantara yang tidak mungkin diklasifikasikan ke dalam satu kategori tertentu. senyawa anorganik dan organik, dapat berkontribusi dengan meningkatkan atau tidak mengganggu proses atau menghambat adsorpsi dengan menciptakan penyelesaian untuk situs adsorptif aktif. Larutan pH, suhu dan kondisi operasional lainnya adalah beberapa faktor yang secara langsung mempengaruhi kinerja adsorpsi (Vieira dkk., 2020).

2.1.6 Fosfat

Fosfat menjadi salah satu unsur penting yang berperan dalam pertumbuhan dan perkembangan dari setiap organisme. Fosfat adalah komponen dari banyak

senyawa penting secara biologis, seperti DNA, RNA, ATP, dan fosfolipid. Selain itu fosfat banyak digunakan sebagai pupuk, bahan peledak, pestisida serta deterjen. Fosfat dalam air berbentuk ortofosfat (PO_4) kandungan fosfat dalam perairan kebanyakan berasal dari limbah pupuk pada pertanian, kotoran manusia dan hewan, industri pulp dan kertas serta limbah rumah tangga dari sabun dan deterjen (Gebus-Czupyt & Wach, 2022).

Biota air membutuhkan kadar fosfat untuk kehidupannya, namun jika dalam konsentrasi yang berlebihan akan menimbulkan dampak yang berbahaya. Kelebihan kandungan fosfat dalam air dapat menyebabkan peningkatan eutrofikasi, yaitu peningkatan produktivitas fitoplankton yang disebabkan oleh meningkatnya unsur nutrient yang dapat merusak kualitas air dan keseimbangan ekologis. Eutrofikasi merupakan salah satu masalah lingkungan terbesar dalam beberapa tahun terakhir. Eutrofikasi antropogenik atau "eutrofikasi kultural" sering kali merupakan proses yang jauh lebih cepat di mana nutrien ditambahkan ke badan air dari berbagai macam sumber pencemar termasuk air selokan yang tidak diolah atau hanya diolah sebagian, air limbah industri, dan pupuk dari praktik pertanian. Polusi nutrien, suatu bentuk pencemaran air, adalah penyebab utama eutrofikasi air permukaan, di mana kelebihan nutrien, biasanya nitrogen atau fosfor, merangsang pertumbuhan alga dan tanaman air (Le Moal dkk, 2019).

2.2 Hipotesa

2.2.1 Hipotesa 1

Penelitian yang dilakukan oleh Agus Triawan (2021). dengan Mikroskop Elektron pada daun salak (*Salacca Zalacca*) menunjukkan adanya karbon (55,73%), oksigen (23,28%), silika (20,36%) komponen lain seperti Cl dan K (0,63%). Sedangkan sisi dalam mengandung beberapa unsur seperti karbon (46,40%), oksigen (50,43%) dan komponen lain seperti Ca, K, Cl, Na, Mg, S, Al (3,17%).

Berdasarkan hasil tersebut, berarti daun salak mengandung hidrokarbon dengan senyawa silikon di bagian luarnya. Suhu yang tinggi akan memberikan tambahan energi bagi abu daun salak untuk memutuskan ikatan antar atom-atom pembangun unsur atau molekul. Pemutusan ikatan tersebut memungkinkan masing-masing atom menjadi bebas keluar dari abu daun salak, sehingga yang tersisa adalah silika murni. Analisis EDX di area terpilih memastikan komposisi karbon oksigen, silika, dan komponen lainnya. Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, diketahui bahwa daun salak berpotensi sebagai sumber bahan karbon dan silika (Agus Triawan dkk., 2021).

Jika suhu yang diberikan dalam proses pengabuan daun salak sebesar 600 °C, maka silika hasil sintesis abu daun salak memiliki karakteristik silika murni dan amorf.

2.2.2 Hipotesa 2

Modifikasi membran kitosan telah dilakukan oleh beberapa peneliti dengan menggunakan material seperti, polisulfonat, natrium tripolifosfat dan asam sitrat. Silika juga merupakan salah satu material pendukung yang dapat digunakan untuk modifikasi membran kitosan. Selain itu silika merupakan pendukung yang ideal karena stabil pada kondisi asam, nonswelling, dapat meningkatkan selektivitas membran, dan tahan terhadap panas. Penambahan silika dalam biomaterial kitosan dapat meningkatkan permeabilitas terhadap oksigen, serta ketahanan fisik terhadap suhu tinggi (Muljani dkk., 2018).

Penambahan silika ke dalam larutan kitosan adalah sebagai porogen bertujuan untuk membentuk pori pada membran sehingga meningkatkan permeabilitas membran. Seperti porogen pada umumnya, silika dapat membuat membran kitosan memiliki pori-pori. Silika akan membentuk pori dengan ikatan silika-oksigen antar molekul sehingga membentuk rantai panjang SiO_2 (membentuk rantai panjang Si-O-Si) dan ikatan antara silika dengan oksigen pada gugus -OH (membentuk ikatan Si-O-C) (Lusiana dkk., 2019).

Jika semakin rendah konsentrasi kitosan dalam membran karena penambahan silika yang lebih banyak, maka akan meningkatkan permeabilitas membrane dan membentuk pori dengan ikatan silika-oksigen.

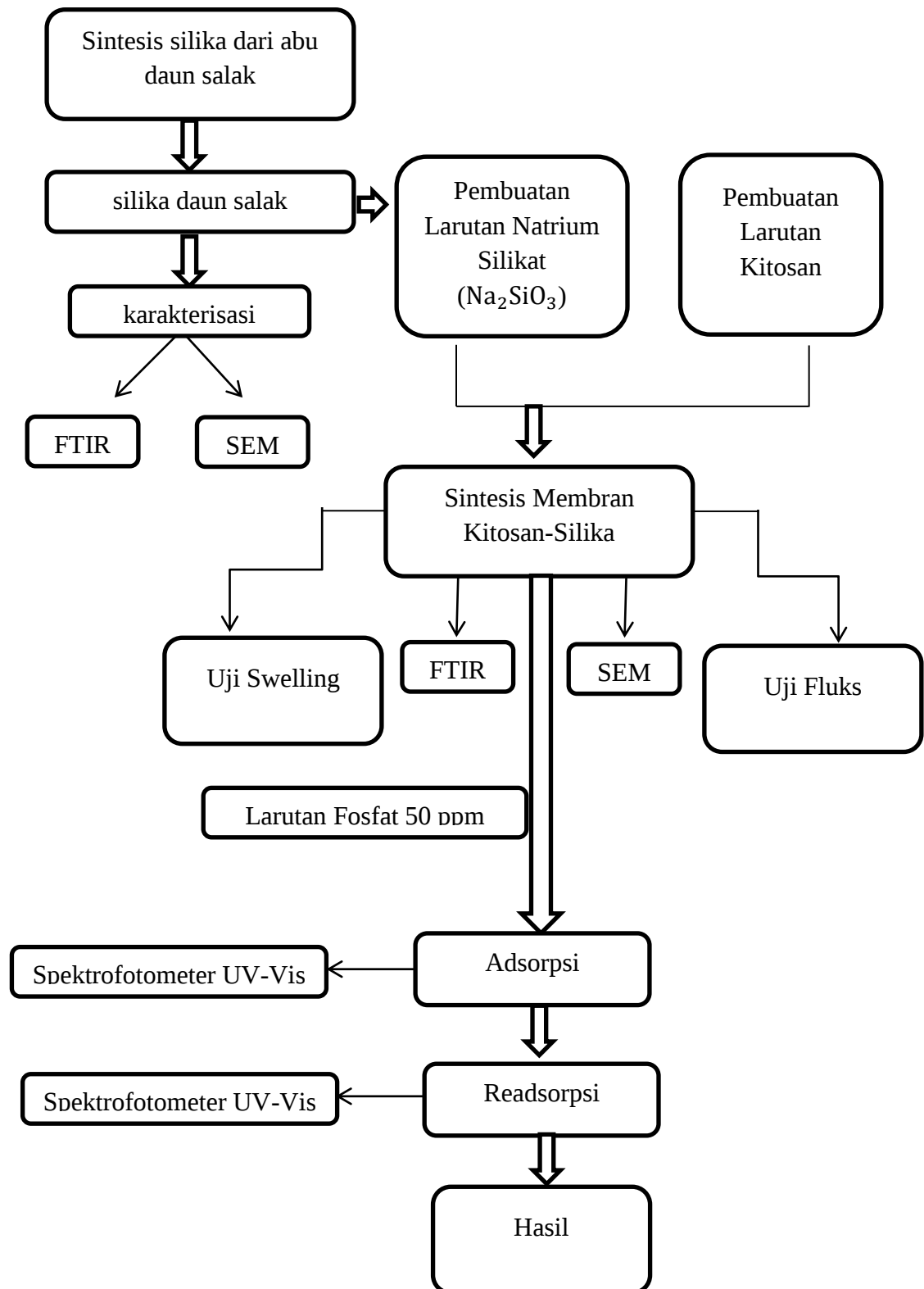
2.2.3 Hipotesa 3

Beberapa metode yang digunakan untuk menurunkan fosfat, antara lain filtrasi, koagulasi, proses fotokatalisis dan adsorpsi. Adsorpsi merupakan serangkaian proses yang terdiri atas reaksi-reaksi permukaan zat padat (adsorben) dengan zat pencemar (adsorbat), baik pada fasa cair maupun gas. Adsorpsi adalah metode yang paling disukai untuk berbagai kontaminan organik dan anorganik untuk pengolahan air dan air limbah karena fleksibilitasnya, penerapannya yang luas, praktis dan efisiensi biaya (Kim dkk., 2022).

Sistem hibrid adsorpsi-membran telah berhasil digunakan untuk meningkatkan kinerja membran terutama dengan meningkatkan penghilangan kontaminan dan mengurangi pengotor membran. Adsorpsi digunakan sebagai metode *pretreatment* untuk meningkatkan penghilangan kontaminan dan mengontrol fluks selama membran penyaringan untuk menghilangkan kontaminan anorganik dan organik khususnya senyawa fosfat (Kim dkk., 2022).

Jika semakin banyak larutan silika yang terdapat pada membran, maka akan semakin banyak pula kadar fosfat yang teradsorpsi karena pori-pori membran yang terbentuk kecil.

2.3 Rancangan Aktivitas



2.3.1 Sintesis dan Karakterisasi Silika Daun Salak

Daun salak dikumpulkan dari tanaman salak di kawasan kebun Raya Wedi di Kabupaten Bojonegoro, Jawa Timur, Indonesia. Selanjutnya daun salak dicuci menggunakan aquades dengan tujuan untuk membersihkannya dari pengotor. Kemudian dikeringkan dibawah sinar matahari sampai kering. Abu daun salak digunakan sebagai sumber utama silika, diperoleh dengan mengkalsinasi daun salak kering pada suhu 600 °C selama 1 jam dalam furnace. Kemudian diayak menggunakan ayakan 100 mesh. Abu daun salak dengan ukuran 100 mesh selanjutnya dicuci dengan menggunakan larutan HCl dan diaduk selama 60 menit menggunakan magnetic stirrer. Sampel disaring dan dicuci dengan aquades panas sampai pH netral (diuji dengan pH universal). Endapan yang diperoleh dikeringkan pada suhu 105 °C selama 4 jam hingga didapatkan silika putih. Silika hasil sintesis dilakukan karakterisasi menggunakan XRD untuk mengetahui kristalinitasnya (Fatimah dkk., 2022).

2.3.2 Pembuatan Larutan Natrium Silikat (Na_2SiO_3)

Silika hasil sintesis abu daun salak ditambahkan dengan larutan NaOH 4M (stoikiometrik). Kemudian dididihkan sambil diaduk dengan *magnetic stirrer*. selanjutnya larutan dituangkan ke dalam cawan porselin dan di furnace pada suhu 500 °C selama 30 menit. Padatan natrium silikat (Na_2SiO_3) yang sudah dingin ditambahkan 200 mL aquades, diaduk dengan magnetic stirrer dan dibiarkan semalam. Sampel selanjutnya disaring dengan kertas saring dan filtrat yang diperoleh adalah larutan Na_2SiO_3 (Ranjani dkk., 2019)

2.3.3 Pembuatan Larutan Kitosan

Larutan kitosan dibuat dengan melarutkan 2 gram kitosan ke dalam 100 mL asam asetat 2%. Campuran diaduk selama 30 menit hingga homogen (Ranjani dkk., 2019).

2.3.4 Sintesis dan Karakterisasi Membran Kitosan-Silika

Larutan kitosan dan silika hasil sintesis dari abu daun salak dicampur untuk pembuatan membran kitosan-silika. Ketebalan membran dikendalikan dengan menyeragamkan volume larutan yang akan dicetak dan cetakan yang akan digunakan. Sintesis membran dilakukan dengan variasi perbandingan volume kitosan dengan larutan natrium silikat yaitu 1:0; 1:0,5; 1:1; 1:1,5; 1:2 membentuk 100 mL campuran larutan kitosan-silika. Selanjutnya campuran larutan dihomogenkan dengan magnetic stirrer kecepatan 250 rpm selama 30 menit. setelah itu membran dicetak dan didiamkan pada suhu kamar hingga membentuk membran padat. Membran kitosan silika yang diperoleh direndam dengan menggunakan NaOH 5% selama 24 jam dan dicuci dengan menggunakan aquades hingga netral. Kemudian dilakukan karakterisasi terhadap

gugus fungsi menggunakan Spektrofotometer Inframerah Transformasi Fourier (FT-IR) untuk semua variasi membran dan uji morfologi menggunakan *Scanning Electron Microscope* (SEM) (Pinem dkk., 2019).

2.3.5 Uji Swelling Membran Kitosan-Silika

Uji swelling dilakukan dengan menimbang massa membran sebelum dan setelah direndam dalam air. Untuk mendapatkan massa kering (W_k) maka membran yang dikeringkan pada suhu kamar kurang lebih selama 24 jam kemudian ditimbang. Massa basah (W_b) diperoleh dengan cara membran direndam selama 6 jam menggunakan air (Sukarta, 2020). Perhitungan uji swelling dengan menggunakan persamaan sebagai berikut.

$$\% S = \frac{W_k - W_b}{W_k} \times 100\%$$

2.3.6 Uji Fluks Membran Kitosan-Silika

Pengukuran fluks dilakukan dengan cara menampung permeat yang keluar dari 25 mL larutan awal yang kemudian dicatat waktunya. Pengukuran dilakukan sebanyak tiga kali untuk masing-masing membran (Elfiana dkk., 2019). Perhitungan uji fluks dengan menggunakan persamaan sebagai berikut.

$$J_v = \frac{V}{A \times t}$$

Keterangan:

- J_v adalah fluks membran ($L/m^2.jam$)
- V adalah volume permeat
- T adalah waktu pengoperasian

2.3.7 Pembuatan Larutan Fosfat

a) Larutan Induk 1000 ppm

Sebanyak 1 gram fosfat dilarutkan dengan aquades pada labu takar 1000 mL.

b) Larutan Baku 100 ppm

Larutan baku fosfat 1000 ppm dipipet sebanyak 10 mL kemudian dimasukkan ke dalam labu takar 100 mL. Setelah itu, dihipitkan dengan aquades sampai tanda batas, lalu dihomogenkan.

c) Pembuatan Larutan Deret Standar Fosfat

Pembuatan larutan standar fosfat dengan konsentrasi 10, 20, 30, 40 dan 50 ppm dilakukan dengan cara memipet larutan induk fosfat 100 ppm berturut-turut sebanyak 5, 10, 15, 20 dan 25 mL kemudian dimasukkan ke dalam labu takar 50 mL. Setelah itu, dihipitkan dengan aquades sampai tanda batas, lalu dihomogenkan.

2.3.8 Adsorpsi Fosfat Dengan Membran Kitosan-Silika

Membran kitosan-silika diletakkan di atas corong yang telah dilapisi dengan kertas saring, kemudian larutan fosfat 50 ppm sebanyak 50 mL dilewatkan pada membran. Larutan yang telah melewati membran, kemudian dianalisis dengan menggunakan spektrofotometer UV-Vis (Sukarta, 2020).

2.3.9 Readsorpsi Fosfat Dengan Membran Kitosan-Silika

Membran kitosan-silika yang telah digunakan dicuci dengan menggunakan larutan NaOH 5%, kemudian diletakkan di atas corong yang telah dilapisi dengan kertas saring, kemudian larutan fosfat 50 ppm sebanyak 50 mL dilewatkan pada membran. Larutan yang telah melewati membran, kemudian dianalisis dengan menggunakan spektrofotometer UV-Vis (Sukarta, 2020).

BAB III KESIMPULAN

3. 1 Karakteristik Silika Abu Daun Salak

Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Fatimah (2022) bahwa abu daun salak memiliki pola XRD SiO_2 dengan refleksi yang luas berkisar antara 22-25°, ini adalah karakteristik silika amorf. Hal tersebut ditunjukkan dengan terbentuknya puncak yang tidak terlalu tajam dengan intensitas yang relatif rendah. Serbuk silika dalam fasa amorf lebih mudah larut jika dibandingkan dengan fasa kristalin. Dalam silika amorf penyusunan atom terjadi secara acak atau dengan derajat keteraturan yang rendah. Polanya mirip dengan silika yang diekstraksi dari abu sekam padi, abu daun bambu, dan sumber biogenik lainnya. Sehingga sangat potensial untuk digunakan sebagai sumber silika pada sintesis bahan berbasis silika seperti membran silika.

Banyaknya kandungan silika dalam abu daun salak dipengaruhi oleh beberapa faktor yaitu temperatur pemanasan dan konsentrasi asam saat pemurnian. Semakin tinggi temperatur dan konsentrasi asam saat pemurnian akan menghasilkan silika dengan kadar lebih besar. Suhu yang tinggi akan memberikan tambahan energi bagi abu daun salak untuk memutuskan ikatan antar atom-atom pembangun unsur atau molekul. Pemutusan ikatan tersebut memungkinkan masing-masing atom menjadi bebas keluar dari abu daun salak, sehingga yang tersisa adalah silika murni (Agus Triawan dkk., 2021)

3. 2 Karakterisasi Membran Kitosan-Silika

Dengan komposisi kitosan-silika yang tepat, akan didapatkan pori dengan struktur yang lebih baik dan kuat. Namun dengan perbandingan kitosan yang terlalu rendah atau terlalu banyak akan dihasilkan membran yang rapuh akibat dari dinding porinya yang tipis dan tidak kuat menahan berat matriks.

Dari uji swelling juga dapat dilihat bahwa semakin sedikit penambahan silika, maka konsentrasi kitosan akan lebih tinggi dalam membran sehingga 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 berdifusi ke dalam membran yang menyebabkan kemampuan mengembangnya kecil. Sebaliknya, semakin rendah konsentrasi kitosan dalam membran karena penambahan silika yang lebih banyak, maka kemampuan mengembangnya besar, hal ini disebabkan karena dengan konsentrasi kitosan yang kecil maka semakin banyak pelarut yang digunakan atau semakin sedikit zat terlarutnya, maka pori-pori membran yang terbentuk semakin besar (Muljani dkk., 2018).

Hasil analisis gugus fungsi membran kitosan-silika menunjukkan bahwa dalam membran kitosan-silika 1:0,5; 1:1; 1:1,5; dan 1:2 terdapat gugus $\text{Si}-\text{O}$, gugus $\text{Si}-\text{OH}$ dan gugus $-\text{NH}_2$. Hasil tersebut menunjukkan bahwa di dalam

membran kitosan-silika terjadi interaksi antara kitosan yang mempunyai kerapatan tinggi dengan silika yang ditambahkan sehingga dapat digunakan dalam proses adsorpsi fosfat dalam larutan (Valentine dkk., 2019).

3. 3 Adsorpsi Fosfat dengan Membran Kitosan-Silika

Membran yang mempunyai koefisien rejeksi terbesar karena pori-pori membran yang terbentuk kecil, sehingga zat-zat organik dapat tertahan pada permukaan membran dan menutupi pori membran yang menyebabkan koefisien rejeksinya tinggi. Efisiensi penyisihan fosfat dapat dilihat dari besarnya kemampuan membran dalam merejeksi fosfat yang terkandung dalam larutan yang dinyatakan dalam koefisien rejeksi. Semakin besar nilai koefisien rejeksi maka semakin besar pula kemampuan membran untuk menyisihkan fosfat sehingga membran yang terbuat semakin baik.

Semakin banyak larutan kitosan yang terdapat pada membran akan semakin banyak pula ion logam berat yang teradsorpsi. Disamping itu, waktu kontak juga akan mempengaruhi daya adsorpsi membran. Hal ini sejalan 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 berdifusi ke dalam membran yang menyebabkan kemampuan mengembangkannya kecil. Sehingga membran memiliki pori-pori dan kerapatan yang tinggi dalam proses adsorpsi (Muljani dkk., 2018).

DAFTAR PUSTAKA

- Agus Triawan, D., Salprima Yudha, S., & Falahudin, A. (2021). Electron Microscope and Diffraction Study of Snake Fruit (*Salacca zalacca* (Gaert.) Voss) Peels. *Journal of Physics: Conference Series*, 1940(1). <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1940/1/012038>
- Al-Gharabli, S., Flanc, Z., Pianka, K., Terzyk, A. P., Kujawski, W., & Kujawa, J. (2023). Porcupine quills-like-structures containing smart PVDF/chitosan hybrids for anti-fouling membran applications and removal of hazardous VOCs. *Chemical Engineering Journal*, 452(P2), 139281. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2022.139281>
- Andianti, R., Mardiyah, S., & Purba, W. S. (2020). *Statistik Lingkungan Hidup Indonesia: Air dan Lingkungan* (Vol. 21, Issue 1). Badan Pusat Statistik.
- Elfiana, E., Diana, S., Fuadi, A., & Fauzan, R. (2019). Characterization Study of Inorganic Hybrid Membran of Mixed Activated Zeolite and Clay with PVA Adhesives using Sintering Method for colourless Peat Water. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 536(1). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/536/1/012036>
- Elma, M., Riskawati, N., & Marhamah, M. (2019). DESALINASI AIR LIMBAH PABRIK TAHU MENGGUNAKAN MEMBRAN SILIKA DENGAN PREKURSOR TEOS (Tetraethyl orthosilicate). *Konversi*, 7(2), 67–70. <https://doi.org/10.20527/k.v7i2.6500>
- Fathurrahman, M., Suhendar, U., Iryani, A., Widiastuti, D., Ahmad, S. N., & Juniar, E. (2022). Sintesis dan Karakterisasi Komposit Eugenol-Silika Gel dari Abu Tongkol Jagung serta Analisis Antibakteri dan Daya Serap terhadap Air. *ALCHEMY Jurnal Penelitian Kimia*, 18(1), 10. <https://doi.org/10.20961/alchemistry.18.1.47161.10-18>
- Fatimah, I., Purwiandono, G., Sahroni, I., Sagadevan, S., Chun-Oh, W., Ghazali, S. A. I. S. M., & Doong, R. an. (2022). Recyclable Catalyst of ZnO/SiO₂ Prepared from *Salacca* Leaves Ash for Sustainable Biodiesel Conversion. *South African Journal of Chemical Engineering*, 40(December 2021), 134–143. <https://doi.org/10.1016/j.sajce.2022.02.008>
- Gebus-Czupyt, B., & Wach, B. (2022). Application of $\delta^{18}\text{O}$ -PO₄ analysis to recognize phosphate pollutions in eutrophic water. *Ecohydrology and Hydrobiology*, 22(1), 21–39. <https://doi.org/10.1016/j.ecohyd.2021.05.005>
- He, Q., Zhao, H., Teng, Z., Wang, Y., Li, M., & Hoffmann, M. R. (2022). Phosphate removal and recovery by lanthanum-based adsorbents: A review for current advances. *Chemosphere*, 303, 134987. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2022.134987>
- Jie, X., Shiu, B.-C., Zhang, Y., Wu, H., Ye, Y., & Fang, R. (2023). Chitosan-Urushiol nanofiber membran with enhanced acid resistance and broad-

- spectrum antibacterial activity. *Carbohydrate Polymers*, 312(November 2022), 120792. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2023.120792>
- Kim, S., Nam, S. N., Jang, A., Jang, M., Park, C. M., Son, A., Her, N., Heo, J., & Yoon, Y. (2022). Review of adsorption–membran hybrid systems for water and wastewater treatment. *Chemosphere*, 286(P3), 131916. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2021.131916>
- Kiswanto, K., Rahayu, L. N., & Wintah, W. (2019). Pengolahan Limbah Cair Batik Menggunakan Teknologi Membran Nanofiltrasi Di Kota Pekalongan. *Jurnal Litbang Kota Pekalongan*, 17, 72–82. <https://doi.org/10.54911/litbang.v17i0.109>
- KLHK. (2020). Indeks Kualitas Lingkungan Hidup 2019. In *Jakarta: Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia*.
- Le Moal, M., Gascuel-Oudou, C., Ménesguen, A., Souchon, Y., Étrillard, C., Levain, A., Moatar, F., Pannard, A., Souchu, P., Lefebvre, A., & Pinay, G. (2019). Eutrophication: A new wine in an old bottle? *Science of the Total Environment*, 651(February), 1–11. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.09.139>
- Lusiana, R. A., Pambudi, G. A., Sari, F. N., Widodo, D. S., & Khabibi, K. (2019). Grafting of heparin on blend membran of citric acid crosslinked chitosan/polyethylene glycol-poly vinyl alcohol (PVA-PEG). *Indonesian Journal of Chemistry*, 19(1), 151–159. <https://doi.org/10.22146/ijc.30861>
- Meidinariasty, A., Purnamasari, I., Zamhari, M., Permadi, J., Zaky Fadillah, N., & Luthfiah, S. (2020). PENGARUH VARIASI JENIS ABU BOILER DAN KOSENTRASI HCl TERHADAP SIFAT FISIS SILIKA GEL HASIL SINTESIS. *Jurnal Kinetika*, 11(03), 28–33. <https://jurnal.polsri.ac.id/index.php/kimia/index28>
- Mozafari, M., Seyedpour, S. F., Salestan, S. K., Rahimpour, A., Shamsabadi, A. A., Firouzjaei, M. D., Esfahani, M. R., Tiraferri, A., Mohsenian, H., Sangermano, M., & Soroush, M. (2019). Facile Cu-BTC surface modification of thin chitosan film coated polyethersulfone membrans with improved antifouling properties for sustainable removal of manganese. *Journal of Membran Science*, 588(May), 117200. <https://doi.org/10.1016/j.memsci.2019.117200>
- Muljani, S., Kusuma, K. A., Nofitasari, L., Amalia, A. R., & Hapsari, N. (2018). Sintesis Membran Kitosan Silika Dari Geothermal Sludge. *Jurnal Teknik Kimia*, 13(1). <https://doi.org/10.33005/tekkim.v13i1.1150>
- Pinem, J. A., Indah Panjaitan, D. N., Siregar, M. R., Saputra, E., & Herman, S. (2019). Synthesis and Characterization of Chitosan-Silica Membrans for Treating Hotel Wastewater Treatment as Affected by Mass of Poly Ethylene Glycol and Poly Vinyl Alcohol. *Journal of Applied Materials and Technology*, 1(1), 31–37. <https://doi.org/10.31258/jamt.1.1.31-37>

- Pradianta, L. A. (2021). *Preparasi kitosan silika terimobilisasi griess saltzman sebagai adsorben dalam pengambilan sampel gas NO₂*. 2. <https://dspace.uui.ac.id/handle/123456789/30061>
- Prihatin, S., & Sugiharto, A. (2021). Pengaruh Variasi Dosis Kapur Terhadap Penurunan Kadar COD dan Fosfat Pada Limbah Usaha Laundry. *IJCA (Indonesian Journal of Chemical Analysis)*, 4(2), 58–63. <https://doi.org/10.20885/ijca.vol4.iss2.art2>
- Purnawan, C., Martini, T., & Rini, I. P. (2018). Sintesis dan Karakterisasi Silika Abu Ampas Tebu Termodifikasi Arginin sebagai Adsorben Ion Logam Cu(II). *ALCHEMY Jurnal Penelitian Kimia*, 14(2), 333. <https://doi.org/10.20961/alchemistry.14.2.19512.334-349>
- Ranjani, M., Pannipara, M., Al-Sehemi, A. G., Vignesh, A., & kumar, G. G. (2019). Chitosan/sulfonated graphene oxide/silica nanocomposite membrans for direct methanol fuel cells. *Solid State Ionics*, 338(May), 153–160. <https://doi.org/10.1016/j.ssi.2019.05.010>
- Rohmah, M. (2021). *Sintesis dan karakterisasi membran silika abu sekam padi untuk filtrasi fosfat pada limbah deterjen*.
- Sari, I. D. M., Eri, I. R., & Thohari, I. (2021). Pengaruh Fitoremediasi Tanaman Melati Air (*Echinodorus palaefolius*) terhadap Penurunan Kadar Fosfat pada limbah Laundry. *Penelitian Kesehatan Suara Forikes*, 12(1), 10–13.
- Sukarta, I. N. (2020). Sintesis Membran Nata De Pina Dan Aplikasinya Untuk Adsorpsi Zat Warna Tekstil Remazol Red Rb. *Jurnal Kimia*, 14(2), 134. <https://doi.org/10.24843/jchem.2020.v14.i02.p05>
- Suryandari, A. S., Mustain, A., Pratama, D. W., & Maula, I. (2019). Studi Aktivitas Reaksi Fotokatalisis Berbasis Katalis TiO₂-Karbon Aktif Terhadap Mutu Air Limbah Power Plant. *Jurnal Teknik Kimia Dan Lingkungan*, 3(2), 95. <https://doi.org/10.33795/jtkl.v3i2.124>
- Utari, N.P.S.N., Sudiarta, I.W., dan Suarya, P. (2020). SINTESIS DAN KARAKTERISASI SILIKA GEL DARI ABU VULKANIK GUNUNG AGUNG MELALUI TEKNIK SOL-GEL N. P. S. N. Utari * , I W. Sudiarta, dan P. Suarya. *Jurnal Kimia (Journal of Chemistry)*, 14(1), 30–36.
- Valentine, D. A., Aprilia, S., & Djuned, F. M. (2019). Sintesis Membran Kitosan-Silika Abu Sekam Padi Untuk Penurunan Logam Berat Cu dengan Proses Ultrafiltrasi. *Jurnal Serambi Engineering*, 4(2), 573–582. <https://doi.org/10.32672/jse.v4i2.1424>
- Vieira, W. T., de Farias, M. B., Spaolonzi, M. P., da Silva, M. G. C., & Vieira, M. G. A. (2020). Removal of endocrine disruptors in waters by adsorption, membran filtration and biodegradation. A review. In *Environmental Chemistry Letters* (Vol. 18, Issue 4). <https://doi.org/10.1007/s10311-020-01000-1>

- Vo, T. S., Hossain, M. M., Lim, T. G., Suk, J. W., Choi, S., & Kim, K. (2022). Modification of the interfacial glass fiber surface through graphene oxide-chitosan interactions for excellent dye removal as an adsorptive membran. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 10(6), 108965. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2022.108965>
- Zuliatin, I., & Faizah, M. (2021). Identifikasi Karakteristik Morfologi Dan Hubungan Kekerasan Salak Pondoh, Salak Madu, Salak Gula Pasir Di Desa Sumber Kecamatan Wonosalam Jombang. *Agrifor*, 20(2), 247. <https://doi.org/10.31293/agrifor.v20i2.5610>