
SINTESIS MEMBRAN PEKTIN KARBOKSIMETIL KITOSAN(KMK) DENGAN TEKNIK TAUT SILANG, CETAK ION DAN POROGEN SEBAGAI ADSORBEN ION LOGAM

Budi Hastuti

*Program Studi Pendidikan Kimia, Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan,
Universitas Sebelas Maret*

ABSTRAK

Saat ini pencarian adsorben yang sempurna difokuskan pada penemuan adsorben yang memiliki stabilitas fisika dan kimia tinggi, berbahan baku dari material organik yang dapat terbiodegradasi dan kelimpahannya di alam meruah. Bahan baku berbasis organik seperti pektin dan kitosan menjadi pilihan, karena daya adsorpsinya yang tinggi terhadap ion logam, namun bahan tersebut memiliki kekurangan terutama pada ketidakstabilannya pada lingkungan dengan pH rendah. Oleh karenanya perlu dilakukan modifikasi untuk meningkatkan karakteristik fisik dan kimianya. Dalam penelitian ini modifikasi pektin dan kitosan dimodifikasi dalam rangka pencarian adsorben yang stabil dalam lingkungan asam, memiliki kemampuan adsorpsi ion logam yang baik serta memiliki selektifitas yang tinggi terhadap ion logam berat. Modifikasi dilakukan dengan pembuatan kompleks polielektrolit Pektin-Kitosan, modifikasi dengan penaut silangan, metode porogen dan pencetakan ion.

Pembuatan kompleks polielektrolit bertujuan untuk membuat adsorben yang stabil. Penautsilangan juga bertujuan untuk membuat adsorben yang stabil dalam asam serta mampu meningkatkan selektivitas adsorpsi terhadap ion logam Pb(II). Senyawa penaut silang yang digunakan menggunakan senyawa penaut silang Bisfenol A diglisidil eter (BADGE). Teknik porogen bertujuan untuk membuat adsorben lebih porous sehingga diharapkan mampu meningkatkan dayaserapnya sebagai adsorben. Dan teknik pencetakan ion menggunakan ion Pb(II) yang dicetak pada adsorben Pek-KMK-BADGE (PKB) bertujuan untuk meningkatkan kemampuan adsorpsi ion Pb(II) dan untuk meningkatkan selektivitas adsorpsi terhadap ion logam Pb(II). Karakterisasi pada adsorben dilakukan melalui identifikasi gugus fungsi dengan spektrofotometer FTIR, XRD, DTA-TGA dan SEM. Adsorpsi ion logam dipelajari pengaruhnya terhadap pH larutan, waktu kontak, variasi konsentrasi, selektivitas dan mekanisme adsorpsi.

Penautsilangan adsorben Pek-KMK menghasilkan senyawa yang stabil dan tidak larut dalam asam. Hasil uji adsorpsi pada ion Pb(II) menunjukkan pH optimum adsorpsi terjadi pada pH 4. Kinetika adsorpsi ion Pb(II) pada adsorben PKB mengikuti kinetika pseudo orde dua. Adsorpsi Pb(II) pada kitosan, pektin PKB-Pb(II)-IIP mengikuti isotherm adsorpsi Freundlich sedangkan adsorben yang lainnya seperti KMK, membran Pek-KMK (Kompleks Polielektrolit), membran Pek-KMK tertaut silang dan membran Porogen PKB-Na mengikuti isotherm Langmuir. Adsorpsi Pb(II) pada kitosan melibatkan ikatan hidrogen, pemerangkapan ion dan ikatan kovalen, sedangkan pada adsorben membran PKB dan adsorben porogen PKB-Na melibatkan mekanisme pembentukan senyawa kompleks. Taut silang pada adsorben Pek-KMK juga dapat meningkatkan selektivitas adsorpsi ion Pb(II) terhadap ion Cu(II) dan Zn(II). Adsorben hasil pencetakan ion PKB-Pb(II)-IIP mampu meningkatkan kemampuan adsorpsi terhadap ion Pb(II) disamping meningkatkan selektivitas adsorpsi ion Pb(II) terhadap ion Cu(II) dan Zn(II).

Kata kunci : *pektin, kitosan, polielektrolit, penautsilangan, pencetakan ion, porogen, adsorpsi, ion logam Pb(II)*

SEMINAR NASIONAL KIMIA
DAN PENDIDIKAN KIMIA (SNKPK) XIII
TAHUN 2021



SINTESIS PEKTIN KARBOKSIMETIL KITOSAN(KMK) MELALUI PEMBENTUKAN KOMPLEKS POLIELEKTROLIT, TEKNIK TAUT SILANG, CETAK ION DAN POROGEN SERTA PEMANFAATANNYA SEBAGAI ADSORBEN ION Pb(II)

Dr. Budi Hastuti, M.Si
Prodi Pendidikan Kimia FKIP UNS

Pencemaran Perairan

Limbah industri



- + Perairan tercemar menimbulkan perubahan nilai dari perairan itu baik kualitas maupun kuantitas
- + Hubungan dinamik dari keseimbangan komposisi komponen unsur hara akan terganggu
- + cenderung meningkatkan kasus keracunan dan gangguan kesehatan masyarakat.

Latar belakang



Pencemaran Logam Pb

Pb merupakan logam berat yang terdapat secara alami di dalam kerak bumi dan tersebar ke atas dalam jumlah kecil melalui proses alami termasuk letusan gunung berapi dan proses geokimia

Pb banyak digunakan dalam industri dan dalam kehidupan sehari-hari



Pencemaran lingkungan oleh Pb kebanyakan berasal dari aktifitas manusia yang mengekstraksi dan mengeksploitasi logam tab



Lanjutan



Rumusan masalah

- Pengaruh gugus aktif asetat yang dicangkokkan pada gugus amino kitosan dalam Pek-kitosan terhadap sifat mekanik, fisik dan kimia material adsorben
- Pengaruh reagen penut silang BADGE dalam adsorben pek-KMK terhadap sifat mekanik, fisik dan kimia adsorben
- Pengaruh penambahan zat pembuat pori (ion Na⁺) terhadap sifat mekanik, fisik dan kimia adsorben
- Pengaruh teknik pencetakan ion dalam meningkatkan kapasitas dan selektivitas adsorpsi adsorben pek-KMK-BADGE terhadap ion Pb(II)

Tujuan Penelitian

- Mengkaji pengaruh gugus aktif asetat yang dicangkokkan pada gugus amina kitosan dalam meningkatkan daya adsorpsi pek-chi.
- Mengkaji pengaruh pemberian agen penaut silang BADGE terhadap pek-KMK dalam pembentukan yang stabil, terorganisasi serta memiliki ketahanan dalam lingkungan pH rendah.
- Mengkaji pengaruh penambahan ion Na^+ sebagai partikel pembuat pori dalam pembentukan pek-KMK-BADGE yang porous.
- Mengkaji penerapan teknik pencetakan ion untuk meningkatkan kapasitas dan selektivitas adsorpsi terhadap ion cetakan.

- Mengkaji variabel yang mempengaruhi adsorpsi logam berat Pb(II) pada adsorben pek-KMK tertaut silang yang meliputi variasi pH, waktu interaksi dan konsentrasi awal logam.
- Mengkaji karakteristik adsorpsi pek-KMK dan turunannya melalui penentuan laju adsorpsi, kapasitas, energi dan selektivitas adsorpsi terhadap logam Pb(II) .
- Mengkaji mekanisme adsorpsi-desorpsi pek-KMK tertaut silang terhadap logam Pb(II) .

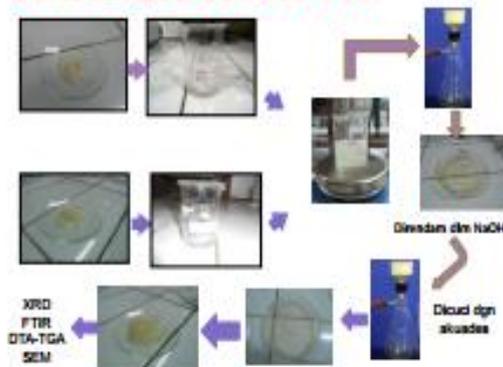
Tahapan Penelitian



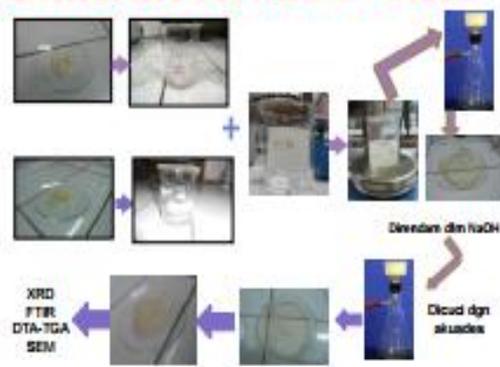
Material yang diperoleh



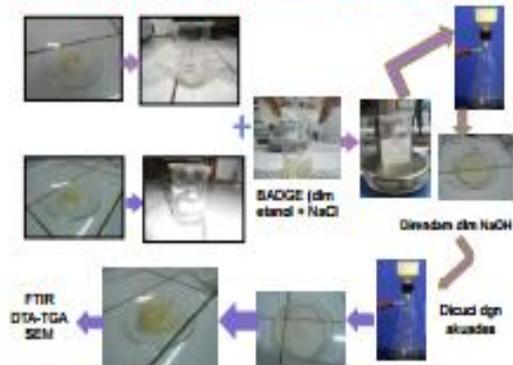
Sintesis Adsorben Pek-KMK



Sintesis Adsorben Pek-KMK-BADGE



Sintesis Adsorben Pek-KMK-BADGE-Na

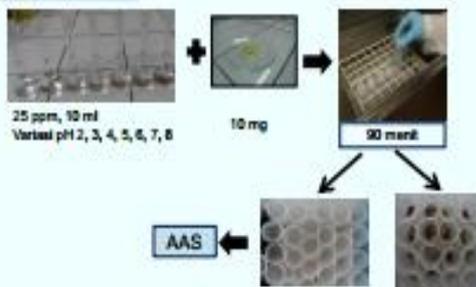


Sintesis Adsorben Pb(II) imprinted-Pek-KMK-BADGE



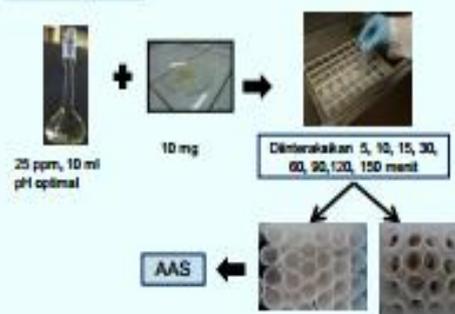
Kajian adsorpsi

Pengaruh pH media



Kajian adsorpsi

Kinorika adsorpsi



Kajian adsorpsi

Kapasitas adsorpsi

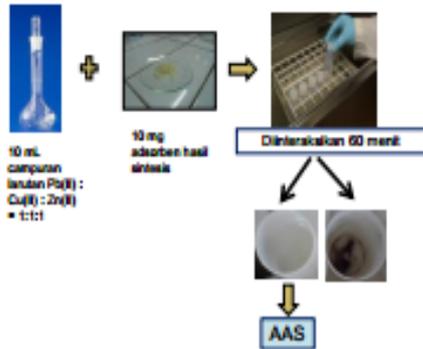


Kajian desorpsi

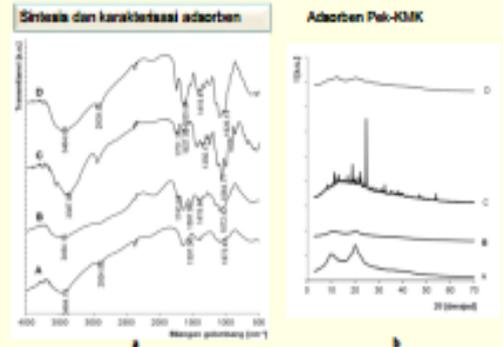
Desorpsi sekuensial



Selektivitas adsorpsi



Hasil dan pembahasan

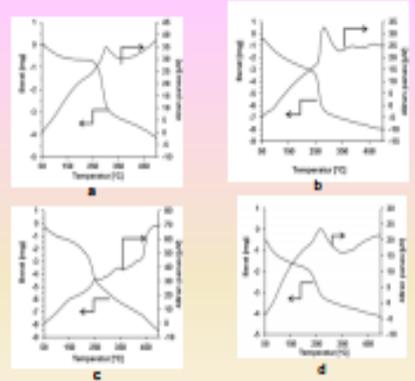


Gambar (a) Spektre FTIR A. Kitosan, B. KMK, C. Pektin dan D. Pek-KMK, (b) Difraktogram XRD A. Kitosan, B. KMK, C. Pektin dan D. Pek-KMK

Interpretasi Gugus Fungai	Pektin	Kitosan	KMK	Pek-KMK
vibrasi rentangan amida		1597	1597	1420
gugus -OH	3387	3464	3464	3464
vibrasi ulur gugus D-CH ₂	2939	2924	2868	2940
C=O ester	1751		1751	1735
-COOH	1628		1627	1635
vibrasi ulur gugus -C-O-	1085	1072	1072	1036

Analisis XRD

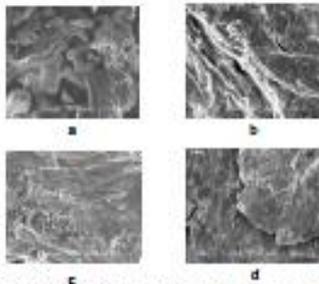
- Adsorben pektin puncak runcing, intensitas tinggi → bersifat kristalin
- pada KMK puncak kembali melebar pada $2\theta = 10^\circ$, dan $2\theta = 20$, intensitas mengalami penurunan dibandingkan dengan kitosan awal terjadi penurunan derajat kristalinitas akibat proses pencangkakan → bersifat amorf
- adsorben Pek-KMK puncak kembali melebar pada $2\theta = 10^\circ$, dan $2\theta = 20$, intensitas lbh tinggi dibanding kitosan → bersifat semikristalin



Gambar Termogram DTA dari a kitosan b KMK, c Pektin dan d. Pek-KMK

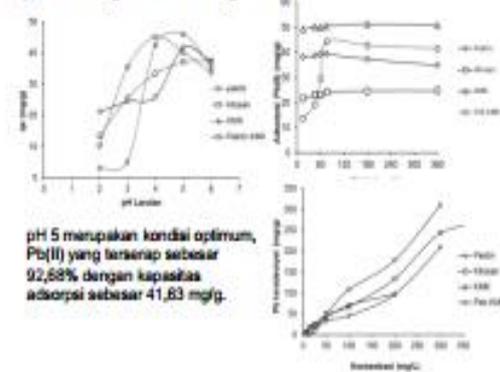
Adsorben	Penurunan berat		
	Tahap 1	Tahap 2	Tahap 3
	60°-150° C	180°-350° C	360°-500° C
Pektin	12%	54%	20%
Kitosan	12%	52%	20%
KMK	10%	35%	10%
Pek-KMK	7%	20%	8%

Morfologi permukaan adsorben



Gambar Citra SEM adsorben a. Pektin 300, b. Kitosan 300, c. KMK 300, d. pek-KMK 250.

Aplikasi sebagai adsorben logam berat



Parameter kinetika pseudo orde satu dan pseudo orde dua dari adsorpsi Pb(II) pada polielektrolit Pek-KMK

Adsorben	Parameter					
	Pseudo orde-1			Pseudo orde-2		
	q_e (mg/g)	k_1 (1/min)	R^2	q_e (mg/g)	k_2 (g/mmol min)	R^2
Kitosan	$6,39 \times 10^{-4}$	$3,40 \times 10^{-4}$	0,729	1,204	0,603	1,000
KMK	$5,98 \times 10^{-4}$	$5,50 \times 10^{-4}$	0,995	1,203	1,110	1,000
pektin	$7,97 \times 10^{-4}$	$1,50 \times 10^{-4}$	0,676	10,40	4,481	0,896
pek-KMK	$2,61 \times 10^{-4}$	$2,20 \times 10^{-4}$	0,820	1,733	0,163	0,983

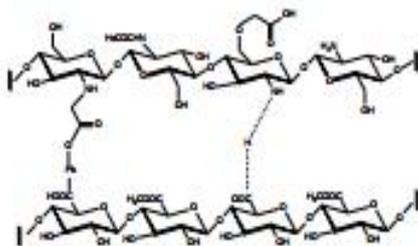
Proses adsorpsi ion Pb(II) oleh adsorben mengikuti kinetika pseudo orde dua \Rightarrow proses adsorpsi ion Pb(II) terjadi melalui ikatan dengan gugus fungsi pada adsorben terutama gugus amina dan karboksilat.

Parameter isoterm Langmuir dan Freundlich adsorpsi ion Pb(II) oleh kitosan, KMK, pektin dan pek-KMK

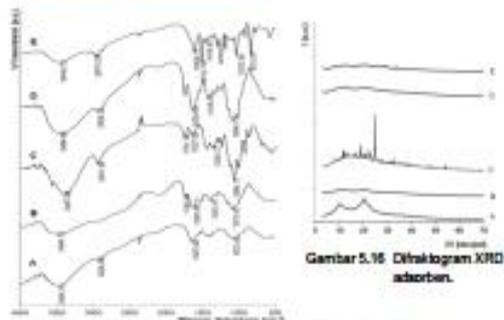
Adsorben	Parameter					
	Isoterm Langmuir			Isoterm Freundlich		
	b (mg/g)	K (μmol)	R^2	ΔG (kJ/mol)	n	K_f (mg/g)
Kitosan	$1,46 \times 10^{-4}$	$2,34 \times 10^{-4}$	0,916	19,34	1,22	1,17
KMK	$1,76 \times 10^{-4}$	$9,38 \times 10^{-4}$	0,923	22,81	2,18	1,51
Pektin	$0,58 \times 10^{-4}$	$2,73 \times 10^{-4}$	0,940	25,48	1,46	2,49
pek-KMK	$4,79 \times 10^{-4}$	$9,01 \times 10^{-4}$	0,834	22,71	2,17	3,53

- Berdasarkan harga ΔG , adsorpsi ion Pb(II) pada adsorben pektin, KMK dan polielektrolit Pek-KMK kemungkinan disebabkan oleh kontribusi bersama adsorpsi kimia dan adsorpsi fisika
- Adsorben kitosan mengadsorpsi ion Pb(II) secara fisik pd permukaan adsorben

Ilustrasi pengikatan ion Pb(II) oleh adsorben polielektrolit pek-KMK



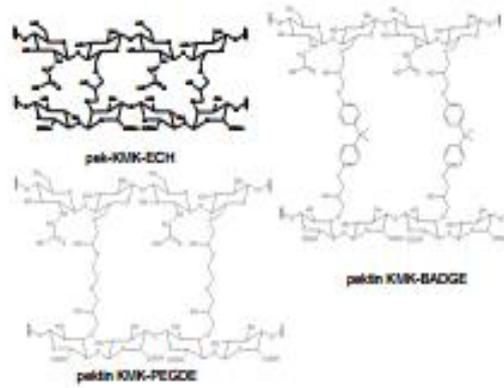
Karakterisasi Karboksimetil Pek-KMK Tertaut Silang dan Aplikasinya sebagai Adsorben



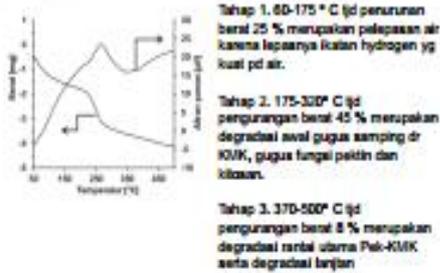
Gambar 5.11 Spektre FTIR adsorben : A. kitosan, B. KMK, C. pektin, D. pek-KMK, E. pek-KMK-SADGE

Interpretasi Gugus Fungal	Pektin	KMK	PKE	PKB	PKP
vibrasi rentangan	1	1	1	1	1
amina		1597	1419		1411
gugus -OH	3440	3464	3464	3449	3464
vibrasi ulur gugus O-CH ₂	2930	2868	2908	2970	2900
C=O ester	1751	1751	1751	1751	1735
-COOH	1626	1627	1628	1605	1635
vibrasi ulur gugus -C-O-	1034	1072	1034		1095
Vibrasi ulur benzena				1512	
Benzena terubutitiasi para				833	

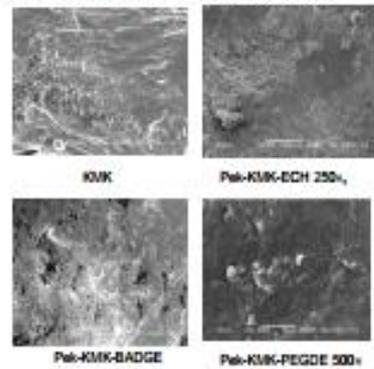
Rancangan Struktur Adsorben Pektin-KMK-Tertaut silang



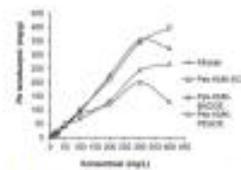
Gambar Termogram DTA dari adsorben Pektin-KMK-BADGE



Morfologi permukaan adsorben



Tabel 5.3 Konstanta laju reaksi dan koefisien transfer pseudo orde satu, pseudo orde dua untuk Pektin-KMK-teraut silang

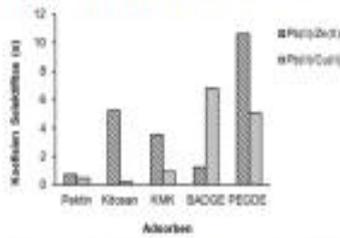


Tabel 5.4 Parameter persamaan Langmuir dan Freundlich untuk adsorpsi Adsorben terhadap Pb(II)

Model	Parameter	pektin	pektin	PKE	PKB	PKP
Pseudo orde satu $q_t = k_1(q_{\infty} - q_t)$	k_1	0,729	0,670	0,704	0,783	0,882
	q_{∞} (mol g ⁻¹) x 10 ⁴	6,20	70,7	34	6,64	21,1
	k_2 (min ⁻¹) x 10 ⁴	3,4	1,5	0,8	1,5	5,1
Pseudo orde dua $\frac{t}{q} = \frac{1}{k_2 q_{\infty}^2} + \frac{t}{q_{\infty}}$	k_2	1,000	0,890	0,990	1,000	0,999
	q_{∞} (mol g ⁻¹)	1,204	10,40	20,20	20,18	20,16
	k_3 (g.min ⁻¹ .mol ⁻¹)	0,603	4,481	0,780	3,464	0,884

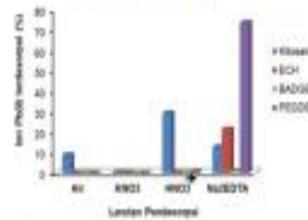
Adsorben	Langmuir					Freundlich		
	b (mg/g)	K (L/mol)	RP	A.G	n	K _f	R ²	
Pektin	1,08 x 10 ⁴	2,20 x 10 ⁴	0,878	18,20	1,22	1,17	0,971	
Pektin	0,88 x 10 ⁴	2,73 x 10 ⁴	0,901	25,08	1,08	2,08	0,728	
pektin KMK-ECH	2,31 x 10 ⁴	8,28 x 10 ⁴	0,981	22,78	1,08	2,74	0,984	
pektin KMK-BADGE	1,87 x 10 ⁴	1,98 x 10 ⁴	0,988	20,08	1,22	2,70	0,972	
pektin KMK-PEGDE	8,88 x 10 ⁴	2,11 x 10 ⁴	0,988	24,83	2,01	1,13	0,987	

Selektivitas Adsorpsi



Pektin-KMK terdapat paling selektif terhadap ion Pb(II) setelah dibandingkan dengan ion Zn(II) dan Cu(II) dengan nilai $\alpha > 1$. Nilai koefisien selektivitas kurang dari 1,0 menunjukkan bahwa adsorben tidak selektif mengadsorpsi Pb(II).

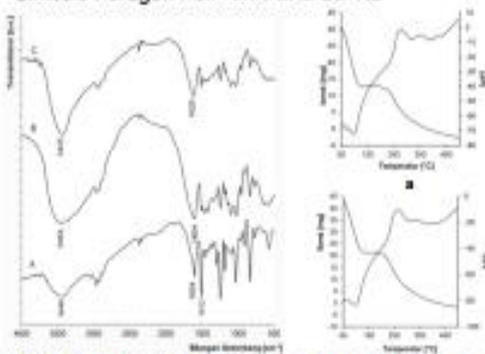
Mekanisme adsorpsi



Seluruh adsorben menunjukkan prosentase terbesar ion Pb(II) terdesorpsi oleh pelarut Na₂EDTA 0,1 M. Hal ini menunjukkan bahwa mekanisme adsorpsi Pb(II) pada adsorben terjadi melalui ikatan kovalen.

Pada adsorben kitosan, proses desorpsi terjadi melalui beberapa mekanisme. Prosentase terdesorpsi terbesar terjadi di dalam HNO₃, mekanisme adsorpsi Pb(II) pada adsorben kitosan terjadi melalui ikatan hidrogen.

Sintesis Porogen Pek-KMK-BADGE-Na

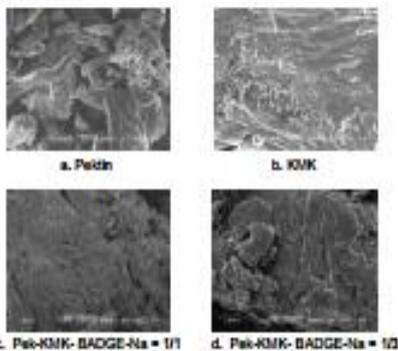


Gambar 5.24. Spektre IR adsorben: A. Pektin-KMK-BADGE, B. Pektin-KMK-BADGE-Na 1/1, C. Pektin-KMK-BADGE-Na 1/3

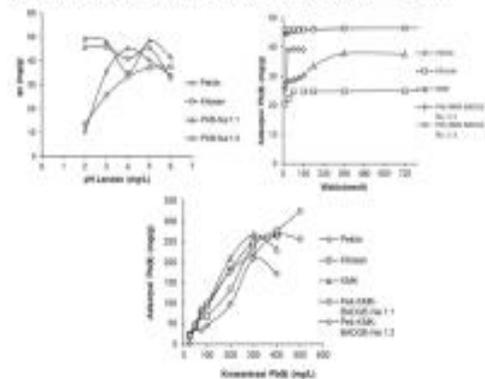
Gambar 5.25. Termogram a. PKB-Na 1/1 dan b. PKB-Na 1/3

Adsorben	Penurunan berat		
	Tahap 1 60°-145° C	Tahap 2 150°-260° C	Tahap 3 360°-500° C
Pektin	12%	54%	20%
KMK	10%	35%	10%
PKB-Na = 1:1	45%	35%	10%
PKB-Na=1:3	25%	45%	8%

Citra foto SEM Adsorben Pektin, KMK, PKB-Na :1:1 dan PKB-Na=1:3



Aplikasi Adsorben PKB-Na sebagai adsorben logam berat



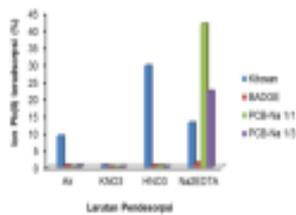
Parameter kinetika pseudo orde satu dan pseudo orde dua dari adsorpsi Pb(II) pada adsorben Pek-KMK-BADGE-Na

Adsorben	Parameter					
	Pseudo orde-1			Pseudo orde-2		
	$q_e \times 10^{-2}$ (mol/g)	k_1 (1/min)	R^2	q_e (mol/g)	k_2 (g/mmolmin)	R^2
Pektin	79,7	15	0,876	10,4	4,48	0,896
Kitosan	6,39	34	0,729	1,20	0,60	1,000
KMK	59,8	55	0,995	1,20	1,11	1,000
PKB-Na 1/1	10,3	145	0,982	2,24	12,3	1,000
PKB-Na 1/3	2,76	58	0,898	2,24	15,1	1,000

Parameter isoterm Langmuir dan Freundlich adsorpsi ion Pb(II) oleh kitosan, pektin, PKB-Na 1/1 dan PKB-Na 1/3

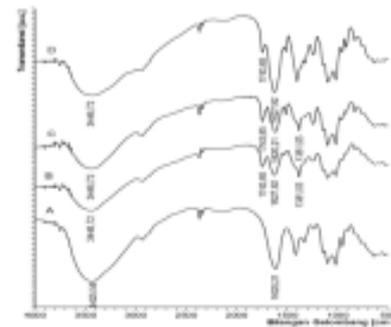
Adsorben	Parameter					
	Langmuir	Langmuir		Freundlich		
	b (mol/g)	K (L/mmol)	ΔG (kJ/mol)	R^2	n	K_f (mg/g)
Kitosan	$1,46 \times 10^{-2}$	2,24	19,24	0,616	1,22	1,17
Pektin	$0,58 \times 10^{-2}$	0,273	25,48	0,944	1,46	2,49
KPB-Na 1/1	$1,45 \times 10^{-2}$	14,13	23,83	0,976	5,35	1,229
KPB-Na 1/3	$1,61 \times 10^{-2}$	6,99	22,08	0,944	3,15	1,246

Mekanisme adsorpsi



Adsorbensi pada kitosan, Pek-KMK-BADGE (PKB), PKB-Na 1/1 dan PKB-Na 1/3 semua dapat terdesorpsi menggunakan larutan Na₂EDTA mekanisme adsorpsi dalam pengikatan ion Pb(II) pada adsorben-adsorben tersebut terjadi melalui internal pembentukan kompleks

Sintesis Pek-KMK-BADGE Tercetak Ion Pb(II)



Gambar 5.32. Spektre IR adsorben: A. Pek-KMK, B. Pek-KMK-Pb, C. Pek-KMK-BADGE-Pb D. PKB-Pb(II)-IP

Interpretasi spektra FTIR

Interpretasi	Pek-KMK	Pek-KMK-Pb	PKB-Pb	PKB-Pb(II)-IP
Gugus Funggal				
vibrasi rentangan	▲	▲	▲	▲
amina	1420	1597	1597	1597
gugus -OH	3449	3449	3449	3449
C=O ester		1743	1743	1743
-COOH	1628	1628	1628	1628
COO-Pb		1381	1381	-
Benzene tersubstitusi para			825	825

Citra foto SEM

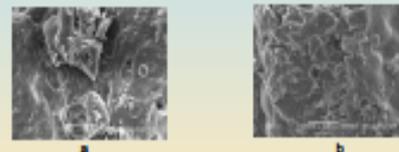
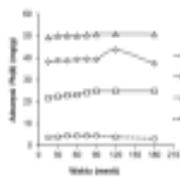


Foto SEM tahapan pembuatan adsorben Pek-KMK-BADGE-tercetak Pb(II) a. tahap 1, b. tahap 2.

Pada tahap 1, KMK-Pb-BADGE menunjukkan permukaan yang lebih halus dengan adanya retakan bulat pada beberapa bagian. Retakan-retakan bulat itu dimungkinkan sebagai ion Pb(II) yang terjebak pada PKB

Pada tahap 2, ion Pb(II) didesorpsi menggunakan Na₂EDTA dan terbentuk adsorben Pb(II)-IP yang menunjukkan permukaan yang lebih kasar karena berpori karena adanya rongga-rongga. Rongga-rongga yang terbentuk merupakan hasil pelepasan ion Pb(II) yang sebelumnya terikat

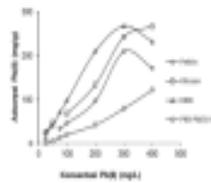
Parameter kinetika pseudo orde satu dan pseudo orde dua dari adsorpsi Pb(II) pada kitosan, KMK dan PKB-Pb(II)-HP



- Proses adsorpsi mencapai kesetimbangan pada 120 menit
- Penambahan waktu kontak tidak menyebabkan perubahan jumlah ion Pb(II) yang teradsorpsi

Adsorben	Parameter					
	Pseudo orde-1			Pseudo orde-2		
	$q_{\infty} \cdot 10^2$ (mmol/g ⁻¹)	k_1 (1/min)	R^2	q_2 (mmol/g ⁻¹)	k_2 (g/gramol min)	R^2
Polisin	79,7	1,5	0,676	10,39	4,48	0,996
Kitosan	6,30	3,4	0,995	1,204	0,60	1,000
KMK	59,8	5,5	0,676	1,203	1,11	1,000
PKB-Pb(II)-HP	6,180	3,8	0,349	2,178	10,09	0,990

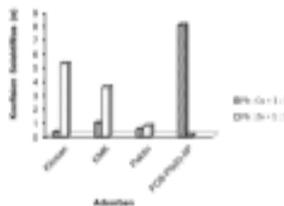
Parameter Isoterm Langmuir dan Freundlich



Pada adsorben PKB-Pb(II)-HP dalam mengikat ion Pb(II) cenderung mengikuti isoterm Freundlich. Hal ini disebabkan pada proses cationic ion, ion Pb(II) yang merupakan ion pencetak masuk ke dalam celakan dan terikat sangat kuat oleh gugus fungsi ke dalam adsorben PKB melalui ikatan kovalen, dan sukar sekali lepas ketika dilepas.

Adsorben	Parameter					
	Langmuir			Freundlich		
	$b \cdot 10^2$ (mg/g)	$K \cdot 10^2$ (L/mol)	ΔG (kJ/mol)	R^2	n	K_f (mg/g)
Polisin	0,58	2,71	25,48	0,944	1,46	2,49
Kitosan	1,46	2,24	19,2	0,616	1,22	1,17
KMK	1,76	9,38	22,8	0,923	2,18	1,51
PKB-Pb(II)-HP	664,4	0,518	15,59	0,68	1,04	1,76

Selektivitas Adsorpsi



Adsorben kitosan dan KMK selektif mengadsorpsi ion Pb(II) dalam kompetisinya dengan ion Zn(II). Adsorben yang tercetak ion (PKB-Pb(II)-HP) selektif mengadsorpsi ion Pb(II) dalam kompetisinya dengan ion Cu(II). Hal ini disebabkan karena ukuran ion logam Cu(II) lebih kecil dibandingkan dengan ukuran ion logam Zn(II) sehingga adsorpsi PKB-Pb(II)-HP terhadap ion Cu(II) memiliki rintangan sterik lebih kecil dibandingkan dengan adsorpsi PKB-Pb(II)-HP terhadap ion Zn(II).

Adsorben PKB-Pb(II)-HP memiliki nilai koefisien yang tinggi

Adsorben-adsorben yang lain yakni kitosan, KMK dan polisin lebih mudah mengadsorpsi ion Pb(II) dalam persaingannya dengan ion Zn(II) dibandingkan dengan pasang Cu(II). Hal ini disebabkan karena kitosan, KMK dan polisin merupakan basa lemah, maka akan lebih mudah mengikat ion Zn(II) yang keasamannya lebih kuat dibanding ion Cu(II).

Adsorben PKB-Pb(II)-HP memiliki nilai koefisien yang tinggi

Kesimpulan

- Polisin dan KMK dapat diinteraksikan membentuk kompleks polielektrolit polik-KMK yang tidak larut dalam asam kuat (HCl 1M). Karakter polimer yang terbentuk adalah kristalinitas menurun dan bentuk morfologi permukaan lebih halus
- Adsorben polielektrolit Polik-KMK dan mengadsorpsi ion Pb(II) mengikuti kurva Langmuir dan model kinetika pseudo orde dua dgn energi sebesar 22,81 kJ/mol, yg menunjukkan proses adsorpsi disebabkan oleh kontribusi bersama antara adsorpsi kimia dan adsorpsi fisika.
- Adsorben Polik-KMK-BADGE menunjukkan sifat ketahanannya dalam asam kuat (HCl 1M), kristalinitas menurun, morfologi permukaan menjadi lebih halus dan kapasitas adsorpsinya terhadap ion Pb(II) meningkat mengikuti kurva Langmuir dan model kinetika pseudo orde dua dgn energi adsorpsi 24,83 kJ/mol, yg menunjukkan proses adsorpsi disebabkan oleh kontribusi bersama antara adsorpsi kimia dan adsorpsi fisika.

- Adsorben tercetak ion PKB-Pb(II)-HP menunjukkan permukaan yang lebih kasar karena berpori. Pola adsorpsi adsorben PKB-Pb(II)-HP dalam mengadsorpsi ion Pb(II) mengikuti model isoterm Langmuir dan model kinetika pseudo orde dua
- Adsorben PKB-Pb(II)-HP juga mampu meningkatkan secara signifikan selektivitas adsorpsi terhadap ion Pb(II) khususnya terhadap ion Cu(II),