

**TESIS**

**PEMANFAATAN PEKTIN-Na SEBAGAI ADSORBEN Cd(II) DALAM  
LARUTAN**

*THE USE OF PECTIN-Na as THE ADSORBENT of Cd(II)*



**Retno Wulandari  
08/274994/PPA/2596**

**PROGRAM STUDI S2 ILMU KIMIA  
JURUSAN KIMIA  
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
UNIVERSITAS GADJAH MADA  
YOGYAKARTA**

**2011**

**TESIS**

**PEMANFAATAN PEKTIN-Na SEBAGAI ADSORBEN Cd(II) DALAM  
LARUTAN**

*THE USE OF PECTIN-Na as THE ADSORBENT of Cd(II)*

Diajukan untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh derajat  
*Master of Science* Ilmu Kimia



**Retno Wulandari**  
**08/274994/PPA/2596**

**PROGRAM STUDI S2 ILMU KIMIA  
JURUSAN KIMIA  
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
UNIVERSITAS GADJAH MADA  
YOGYAKARTA**

**2011**

# HALAMAN PENGESAHAN

## TESIS


### PEMANFAATAN PEKTIN-Na SEBAGAI ADSORBEN Cd(II) DALAM LARUTAN


Telah dipersiapkan dan disusun oleh:


**Retno Wulandari**  
08/274994/PPA/02596


Telah dipertahankan di depan Tim Penguji  
pada tanggal: 3 Agustus 2011

Susunan Tim Penguji

  
Prof. Dr. Sri Juari Santosa, M.Eng.  
Pembimbing I/Ketua

  
Dr. Dwi Siswanta, M.Eng.  
Penguji I/Anggota

  
Prof. Dr. Bambang Rusdiarto, DEA  
Pembimbing II/Anggota

  
Dr. Respati Tri Swasono, M.Phil  
Penguji II/Anggota

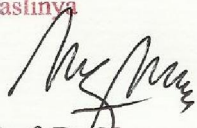
Tesis ini telah diterima sebagai salah satu persyaratan  
untuk memperoleh gelar Master of Science  
Tanggal : .....

#### PENGESAHAN

Salinan/Fotocopi sesuai dengan aslinya  
Yogyakarta,

a. n. Dekan

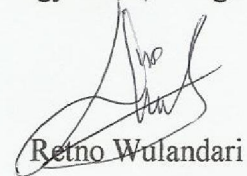
  
  
Dr. Bekti Nurwantoro, M.S.  
NIP. 196304221983031001

  
Prof. Dr. Nuryono, M.S.  
Ketua Program Studi S2/S3 Ilmu Kimia

## PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam tesis ini tidak terdapat karya yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar kesarjanaan di suatu Perguruan Tinggi dan sepanjang pengetahuan saya, juga tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain kecuali yang secara tertulis diacu dalam naskah ini dan disebutkan dalam daftar pustaka.

Yogyakarta, 5 Agustus 2011



Retno Wulandari

## PRAKATA

Puji Syukur penulis panjatkan kepada Allah Yang Maha Esa atas nikmat dan karunia yang berlimpah sehingga penulisan tesis dapat diselesaikan.

Tesis ini berjudul **“Pemanfaatan Pektin-Na Sebagai Adsorben Cd(II) Dalam Larutan”**. Penyelesaian tesis ini tidak lepas dari bantuan berbagai pihak baik bersifat moral maupun material. Oleh karena itu dalam kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada :

1. Prof. Dr. Sri Juari Santosa, M.Eng, selaku pembimbing utama yang telah memberikan kesempatan kepada penulis untuk mengkaji penelitian ini serta memberikan bimbingan, arahan dan saran selama penelitian dan penulisan tesis ini hingga paripurna.
2. Prof. Dr. Bambang Rusdiarso, DEA selaku pembimbing kedua atas bimbingan yang diberikan hingga selesainya penulisan tesis ini.
3. Prof. Dr. Dwi Siswanta, M.Eng, dan Dr. Respati Tri Swasono, M.Phil selaku penguji yang telah memberikan kritik dan saran dalam tesis ini.
4. Keluarga dan sahabat penulis atas doa, cinta, dan motivasinya
5. Teman-teman satu penelitian, staf laboran di laboratorium Kimia Anorganik serta teman-teman S2 Kimia 2008 dan 2009 atas motivasi dan dukungannya.
6. Serta semua pihak yang telah membantu dalam menyelesaikan penulisan ini yang tidak dapat disebutkan satu per satu.

Penyusun menyadari bahwa dalam penyusunan tesis ini masih terdapat banyak kekurangan, oleh karena itu penyusun mengharapkan saran-sarannya agar mendapatkan hasil yang lebih baik.

Yogyakarta, Agustus 2011

Penulis

## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i	
HALAMAN PENGESAHAN	ii	
HALAMAN PERNYATAAN	iii	
PRAKATA	iv	
DAFTAR ISI	v	
DAFTAR GAMBAR	vii	
DAFTAR TABEL	viii	
DAFTAR LAMPIRAN	ix	
INTISARI	x	
<i>ABSTRACT</i>	xi	
BAB I	PENDAHULUAN	1
	1.1 Latar Belakang Penelitian	1
	1.2 Tujuan Penelitian	3
	1.3 Manfaat Penelitian	3
BAB II	TINJAUAN PUSTAKA	4
	2.1 Jeruk ( <i>Citrus sinensis</i> (L.) Osbeck)	4
	2.2 Ampas Jeruk	5
	2.3 Pektin	6
	2.4 Logam	9
	2.4.1 Kadmium	10
	2.4.2 Spesiasi kadmium	12
	2.5 Adsorpsi	12
	2.5.1 Proses adsorpsi	12
	2.5.2 Kinetika adsorpsi	13
	2.5.3 Adsorpsi isoterml Langmuir	14
	2.6 Faktor yang Mempengaruhi Logam-Ligan	16
	2.6.1 Sifat ion logam dan ligan	16
	2.6.2 Sifat pelarut	18
	2.6.3 pH sistem	18
BAB III	LANDASAN TEORI, HIPOTESIS, DAN RANCANGAN PENELITIAN	20
	3.1 Landasan teori	20
	3.2 Hipotesis	22
	3.3 Rancangan penelitian	22
BAB IV	METODE PENELITIAN	24
	4.1 Alat dan Bahan	24
	4.1.1 Alat	24
	4.1.2 Bahan	24

4.2	Prosedur Penelitian	24
4.2.1	Pembuatan adsorben	24
4.2.2	Pembuatan larutan induk	25
4.2.3	Adsorpsi Cd(II) pada adsorben	26
BAB V	HASIL DAN PEMBAHASAN	28
5.1	Isolasi Pektin dan Karakterisasinya	28
5.1.1	Preparasi ampas jeruk <i>Citrus sinensis</i> (L.) Osbeck tersaponifikasi NaOH	28
5.1.2	Preparasi pektin-H <sup>+</sup>	30
5.1.3	Penentuan pertukaran proton	31
5.1.4	Stabilitas adsorben pektin-Na terhadap p	31
5.2	Adsorpsi	32
5.2.1	Pengaruh pH terhadap adsorpsi Cd(II)	32
5.2.2	Kinetika adsorpsi Cd(II)	34
5.2.3	Pengaruh konsentrasi awal dan studi termodinamika	37
5.3	Selektivitas adsorpsi logam Cd(II) dengan adanya logam lain	39
5.4	Perbandingan optimasi pektin-Ca Inoue	
5.5	dengan pektin-Ca <i>Citrus sinensis</i> (L.) Osbeck	41
BAB VI	KESIMPULAN DAN SARAN	44
6.1	Kesimpulan	44
6.2	Saran	44
	DAFTAR PUSTAKA	45
	LAMPIRAN	50

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Jeruk <i>Citrus sinensis</i> (L.) Osbeck	5
Gambar 2.2 Bagian-bagian ampas jeruk	6
Gambar 2.3 Senyawa pektin pada dinding sel tanaman	7
Gambar 2.4 Struktur pektin	8
Gambar 2.5 Distribusi spesies Cd(II) dalam air murni sebagai fungsi pH pada 25 °C	11
Gambar 3.1 Reaksi saponifikasi pektin dengan Ca(OH) <sub>2</sub>	21
Gambar 5.1 Saponifikasi pektin dengan NaOH	28
Gambar 5.2 Spektra inframerah pektin ampas jeruk dan pektin-Na	30
Gambar 5.3 Grafik pertukaran proton	32
Gambar 5.4 Grafik stabilitas adsorben	32
Gambar 5.5 Adsorpsi logam Cd(II) pada berbagai pH	33
Gambar 5.6 Variasi pH larutan blanko Cd(II)	34
Gambar 5.7 Pengaruh waktu interaksi terhadap adsorpsi logam Cd(II) pada pektin-Na	35
Gambar 5.8 Pengaruh variasi konsentrasi terhadap adsorpsi ion logam Cd(II)	37
Gambar 5.9 Hubungan antara konsentrasi kesetimbangan Cd(II) dengan jumlah Cd(II) teradsorpsi	38



## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Klasifikasi asam-basa Lewis berdasarkan HSAB	18
Table 5.1 Pita absorpsi FTIR	31
Tabel 5.2 Model kinetika adsorpsi Cd(II) pada pektin-Na	36
Tabel 5.3 Perbandingan adsorpsi Cd(II) menggunakan berbagai macam adsorben	39
Tabel 5.4 Selektivitas adsorpsi pektin-Na terhadap Cd(II) dengan adanya Pb(II) dan Zn(II)	40
Tabel 5.5 Kondisi pembuatan pektin-Ca	41
Tabel 5.6 Hasil optimasi adsorpsi Cd(II) pada pektin-Ca	41
Tabel 5.7 Selektivitas adsorpsi pektin-Ca terhadap Cd(II) dengan adanya Pb(II) dan Zn(II)	42

## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1	Adsorben pektin-Na	50
Lampiran 2	Total pertukaran proton adsorben Pektin-Na	51
Lampiran 3	Stabilitas adsorben pektin-Na	52
Lampiran 4	Spektra FT-IR pektin	53
Lampiran 5	Spektra FT-IR pektin-Na pH 10	54
Lampiran 6	Spektra FT-IR pektin-Na pH 10,5	55
Lampiran 7	Spektra FT-IR pektin-Na pH 11	56
Lampiran 8	Spektra FT-IR pektin-Na pH 11,5	57
Lampiran 9	Spektra FT-IR pektin-Na pH 12	58
Lampiran 10	Spektra FT-IR pektin-Na pH 12,5	59
Lampiran 11	Optimasi pH terhadap proses adsorpsi logam Cd(II)	60
Lampiran 12	Optimasi waktu interaksi terhadap proses adsorpsi logam Cd(II)	62
Lampiran 13	Kinetika Moore, Pearson, Lagergren, dan Ho	64
Lampiran 14	Optimasi konsentrasi logam Cd(II) terhadap adsorben pektin-Na	66
Lampiran 15	Perhitungan adsorpsi isotermaal logam Cd(II) menggunakan persamaan isotermaal Langmuir pada adsorben pektin-Na	68
Lampiran 16	Selektivitas adsorpsi pektin-Na terhadap Cd(II) dengan adanya Pb(II)	69
Lampiran 17	Selektivitas adsorpsi pektin-Na terhadap Cd(II) dengan adanya Zn(II)	70
Lampiran 18	Adsorben pektin-Ca	71
Lampiran 19	Total pertukaran proton adsorben Pektin-Ca	72
Lampiran 20	Stabilitas adsorben pektin-Ca	73
Lampiran 21	Spektra FT-IR pektin-Ca pH 10	74
Lampiran 22	Spektra FT-IR pektin-Ca pH 10,5	75
Lampiran 23	Spektra FT-IR pektin-Ca pH 11	76
Lampiran 24	Spektra FT-IR pektin-Ca pH 11,5	77
Lampiran 25	Spektra FT-IR pektin-Ca pH 12	78
Lampiran 26	Spektra FT-IR pektin-Ca pH 12,5	79
Lampiran 27	Optimasi pH terhadap proses adsorpsi logam Cd(II)	80
Lampiran 28	Optimasi waktu interaksi terhadap proses adsorpsi logam Cd(II) oleh pektin-Ca	82
Lampiran 29	Kinetika Moore, Pearso, Lagergren, dan Ho pektin-Ca	83
Lampiran 30	Optimasi konsentrasi logam Cd(II) terhadap adsorben pektin-Ca	84
Lampiran 31	Perhitungan adsorpsi isotermaal logam Cd(II) menggunakan persamaan isotermaal Langmuir pada adsorben pektin-Ca	85
Lampiran 32	Selektivitas adsorpsi pektin-Ca terhadap Cd(II) dengan adanya Pb(II)	86
Lampiran 33	Selektivitas adsorpsi pektin-Ca terhadap Cd(II) dengan adanya Zn(II)	87

## INTISARI

### PEMANFAATAN PEKTIN-Na SEBAGAI ADSORBEN Cd(II) DALAM LARUTAN

**Retno Wulandari**  
**08/274994/PPA/2596**

Telah dilakukan penelitian tentang pemanfaatan pektin-Na sebagai adsorben Cd(II) dalam larutan. Adsorben pektin-Na diperoleh dengan cara mensaponifikasi pektin pada ampas jeruk *Citrus sinensis* (L.) Osbeck dengan NaOH selama 24 jam pada suhu 70°C. Pektin-Na yang terbentuk dikarakterisasi dengan spektrofotometer infra merah. Dipelajari pula pengaruh parameter (pH, waktu, dan konsentrasi) adsorpsi Cd(II) pada pektin-Na, dan selektifitas adsorben pektin-Na dalam mengadsorpsi Cd(II) dengan adanya Pb(II) dan Zn(II).

Proses adsorpsi logam Cd(II) dilakukan dengan metode *batch adsorption* sebagai fungsi pH, waktu kontak, dan variasi konsentrasi ion Cd<sup>2+</sup>, juga dipelajari adanya pengaruh logam Pb(II) atau Zn(II). Kajian adsorpsi Cd(II) dilakukan pada konsentrasi awal 100 mg L<sup>-1</sup>, dan pH larutan divariasikan dari 2-9. Jumlah ion Cd(II) yang teradsorpsi ditentukan berdasarkan konsentrasi ion logam sebelum dan sesudah adsorpsi berlangsung menggunakan metode spektroskopi serapan atom.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa hasil karakterisasi pektin-Na dengan FT-IR ditandai dengan berkurangnya puncak C=O dari ester pada pita serapan 1743,65 cm<sup>-1</sup> yang terdapat pada pektin menandakan tergantikannya gugus CH<sub>3</sub><sup>+</sup> pada ester dengan ion Na<sup>+</sup>. Adsorpsi optimum Cd(II) pada pektin-Na terjadi pada pH 7 dengan konstanta laju adsorpsi sebesar 3,68 g mmol<sup>-1</sup> menit<sup>-1</sup> yang mengikuti persamaan kinetika adsorpsi pseudo orde-2. Kapasitas adsorpsi pektin-Na sebesar 0,20 mmol g<sup>-1</sup>. Hasil penelitian menunjukkan kemampuan adsorpsi pektin-Na dalam mengadsorpsi Cd(II) secara tidak selektif dengan adanya Pb(II) atau Zn(II).

*Kata kunci: pektin, ampas jeruk, adsorpsi, asam pektat, kadmium, saponifikasi*

## ABSTRACT

### THE USE OF PECTIN-Na as THE ADSORBENT of Cd(II)

by

**RETNO WULANDARI**

**08/274994/PPA/2596**

The utilization of pectin-Na as adsorbent has been studied for Cd(II). The adsorbent has been obtained by the saponification of pectin's orange waste of *Citrus sinensis* (L.) Osbeck with NaOH for 24 hours at 70 °C. The pectin-Na was characterized by infra red spectrophotometer (FTIR), it has been studied also the effect of adsorption parameters (pH, time, and concentration of Cd(II)) on the adsorption of Cd(II) on pectin-Na, and the adsorption selectivity of pectin-Na for Cd(II) with the presence of Pb(II) or Zn(II).

Adsorption of Cd(II) was done in batch mode as a function of pH, contact time, and variation of concentration of Cd(II). The effect of Pb(II) or Zn(II) on the adsorption of Cd(II) was also studied. Adsorption was performed with initial concentration of Cd(II) 100 mg L<sup>-1</sup> and the solution pH range from 2 to 9. The adsorbed Cd(II) was calculated by subtracting the concentration of Cd(II) left in the solution after adsorption to the initial concentration. The concentration of Cd(II) was determined using atomic absorption spectroscopy.

The results showed the characterization of pectin-Na with FTIR was observed by the lowering of C=O peak in ester at 1743,65 cm<sup>-1</sup> which originally existed in pectin. It is an indication the presence of exchange of CH<sub>3</sub><sup>+</sup> with Na<sup>+</sup>. Adsorption of Cd(II) on pectin-Na was optimum at pH 7 and followed pseudo second order adsorption kinetics with adsorption rate constant 3.68 g mmol<sup>-1</sup> min<sup>-1</sup>. The adsorption capacity was 0.20 mmol g<sup>-1</sup> but the adsorption was still inselective with the presence of Pb(II) or Zn(II).

*Keywords: pectin, orange waste, adsorption, pectic acid, cadmium, saponification*

# BAB I

## PENDAHULUAN

Keberadaan logam-logam berat di lingkungan telah menjadi perhatian yang serius saat ini karena berdampak pada pencemaran lingkungan, bahkan bersifat racun jika dikonsumsi. Berbagai metode telah diupayakan untuk menghilangkan logam-logam yang bersifat racun tersebut, diantaranya seperti metode *ion-exchange*, *reverse osmosis*, adsorpsi, pengompleksan, dan pengendapan (Crist *et al.*, 1996).

Adsorpsi adalah metode yang paling efektif dan secara luas digunakan sebagai pengambil logam-logam berat di perairan. Karbon aktif dan resin pengkhelet merupakan contoh adsorben yang paling populer, namun secara komersial masih mahal dan karena itu material alternatif dengan biaya yang rendah, ramah lingkungan, dan biodegradabel telah menjadi fokus bagi para peneliti saat ini. Metode adsorpsi umumnya berdasarkan interaksi logam dengan gugus fungsional yang ada pada permukaan adsorben melalui interaksi pembentukan kompleks. Adsorpsi biasanya terjadi pada permukaan padatan yang kaya akan gugus fungsional seperti: -OH, -NH, -SH, dan -COOH (Stumm dan Morgan, 1996).

Salah satu material alternatif yang bersumber dari limbah organik adalah pektin yang banyak mengandung gugus -COOH. Pektin diperoleh dari limbah ampas jeruk. Ampas jeruk merupakan limbah yang mudah didapat dan tersedia dalam jumlah banyak, yang selama ini belum dimanfaatkan secara optimal. Sebagai salah satu alternatif pemanfaatannya adalah dengan pengambilan pektin yang terkandung dalam ampas jeruk sesuai dengan metode Inoue (Inoue *et al.*, 2005). Pektin merupakan polimer dari asam *D-galakturonat* yang dihubungkan oleh ikatan  $\alpha$ -1,4 *glikosidik*, yang bersifat tidak beracun dan dapat diuraikan oleh mikroorganisme. Pektin dapat disaponifikasi dengan  $\text{Ca(OH)}_2$  menghasilkan ampas jeruk tersaponifikasi atau *Saponified Orange Waste* (SOW) atau pektin-Ca.

Inoue *et al.* (2005) telah melakukan penelitian awal pektin ampas jeruk dengan memodifikasi menggunakan  $\text{Ca(OH)}_2$  sehingga diperoleh *Saponified Orange Waste with Ca(OH)<sub>2</sub>* (SOW-Ca atau pektin-Ca) sebagai adsorben yang selektif untuk Pb(II), Fe(III), dan Cu(II). Adsorben SOW-Ca ini berpotensi sebagai material alternatif dengan biaya yang murah, ramah lingkungan, dan biodegradabel.

Marín *et al.* (2007) melakukan penelitian ampas jeruk aplikasinya sebagai adsorben Cd(II) dengan *range* pH 2-6. Penelitian ini menyatakan bahwa Cd(II) dapat teradsorpsi oleh adsorben ampas jeruk dengan kapasitas adsorpsi 0,40; 0,41; dan 0,43 mmol/g pada pH 4, 5, dan 6. Marín *et al.* (2008) melanjutkan penelitian ampas jeruk dengan aplikasinya sebagai adsorben logam Cd(II), Zn(II) dan Pb(II). Marín melakukan sistem biner logam dengan kapasitas adsorpsi maksimum 0,25 mmol/g dengan urutan kemampuan adsorpsi logam  $\text{Pb}^{2+}$ ,  $\text{Zn}^{2+}$ ,  $\text{Cd}^{2+}$ .

Li *et al.* (2008) telah melakukan penelitian selulosa dari ampas jeruk disaponifikasi menggunakan NaOH, digunakan sebagai adsorben logam Ni(II), Co(II), Zn(II), dan Cd(II) dengan kapasitas adsorpsi 1,28; 1,23; 1,21; dan 1,13 mol/kg dengan *range* pH optimum 5-7.

Informasi tersebut memberikan gagasan untuk mensaponifikasi pektin menggunakan NaOH atau *Saponified Orange Waste with NaOH* (SOW-Na atau pektin-Na) sebagai adsorpsi Cd(II). Bila dikaji dari penelitian Marín (2007) dan Li (2008) kapasitas adsorpsi semakin meningkat dengan meningkatnya pH, maka dalam penelitian ini akan diperlebar *range* pH Cd(II) menjadi 2-9. Selektivitas adsorben pektin-Na dalam mengadsorpsi logam Cd(II) dengan adanya Pb(II) dan Zn(II) juga akan dipelajari lebih lanjut.

## 1.1 Tujuan Penelitian

Berdasarkan latar belakang di atas, maka penelitian ini dilakukan dengan tujuan untuk :

1. Mempelajari pembuatan adsorben dari pektin ampas jeruk *Citrus sinensis* (L.) Osbeck yang tersaponifikasi NaOH atau *saponified orange waste with NaOH* (SOW-Na atau pektin-Na).

2. Mengkaji parameter yang mempengaruhi adsorpsi pektin-Na yang meliputi pengaruh pH, waktu interaksi, dan konsentrasi logam awal.
3. Mempelajari kapasitas adsorpsi Cd(II) pada adsorben pektin-Na.
4. Mempelajari selektivitas adsorben Cd(II) pektin-Na dalam mengadsorpsi Cd(II) dengan adanya Pb(II) dan Zn(II).

## 1.2 Manfaat Penelitian

Manfaat yang diharapkan dari penelitian ini adalah :

1. Memberi informasi dan wacana baru mengenai pektin ampas jeruk *Citrus sinensis* (L.) Osbeck tersaponifikasi NaOH sebagai adsorben yang ramah lingkungan, murah dan efektif untuk adsorpsi logam berat seperti Cd(II).
2. Memberikan informasi mengenai selektivitas adsorben pektin-Na dalam mengadsorpsi Cd(II) dengan adanya Pb(II) dan Zn(II).

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Jeruk *Citrus sinensis* (L.) Osbeck**

Jeruk merupakan buah yang disukai masyarakat baik di dalam negeri maupun di luar negeri, selain karena rasanya yang enak juga karena manfaat dan vitamin yang terkandung di dalamnya. Produksi buah jeruk Indonesia selama tiga tahun terakhir cenderung meningkat. Produksi jeruk Indonesia tahun 2004 berada di peringkat 10 kurang lebih 1.600.000 ton atau 2,6% dari produksi dunia (Anonim, 2005). Jeruk *Citrus sinensis* (L.) Osbeck merupakan salah satu jenis jeruk yang biasa dikonsumsi sebagai buah peras dan sering disebut jeruk manis. Ciri khas jeruk ini terletak kulit buahnya yang tidak mudah dikupas dari dagingnya, demikian pula daging buahnya tidak dapat dipisahkan satu sama lain.

Penelitian ini menggunakan jenis jeruk *Citrus sinensis* (L.) Osbeck, dikarenakan banyaknya orang yang mengkonsumsi buah jenis ini terutama masyarakat Indonesia yang mayoritas mengemari minuman jeruk tetapi hanya mengambil sari jeruk dan sisanya dibuang begitu saja. Hal itulah yang menyebabkan peneliti berupaya memanfaatkan dan meningkatkan nilai ekonomi dari limbah tersebut sebagai adsorben yang ramah lingkungan.

Jeruk ini termasuk ke dalam kelompok *Citrus sinensis*, dicirikan dengan tangkai daun yang mempunyai sayap dan bunganya berwarna putih. Morfologi tanaman jeruk manis mempunyai batang yang bercabang banyak, tajuk daun bundar, dan umumnya berbuah satu kali dalam satu tahun. Buah jeruk ini berbentuk bulat atau hampir bulat, ukuran agak besar, bertangkai kuat, kulit buah berwarna hijau sampai kuning dan mengkilat. Kulit buah sulit dikupas, sehingga untuk mengkonsumsinya perlu dibelah dan diperas (Rukmana, 2003).

Kedudukan tanaman jeruk ini dalam sistematika (taksonomi) tumbuhan diklasifikasikan sebagai berikut.



Kingdom : Plantae  
Divisi : Spermatophyta (tumbuhan berbiji)  
Sub-divisi : Angiospermae (berbiji tertutup)  
Kelas : Dicotyledonae (biji berkeping dua)  
Ordo : Rutales  
Famili : Rutaceae  
Genus : Citrus  
Spesies : *Citrus sinensis* (L.) Osbeck.  
(Rukmana, 2003)



**Gambar 2.1 Jeruk *Citrus sinensis* (L.) Osbeck (Anonim, 2005)**

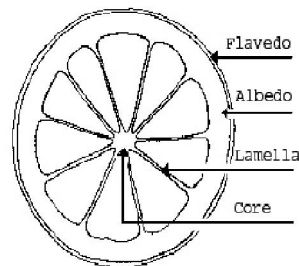
## **2.2 Ampas jeruk**

Pembuatan produk dengan bahan baku jeruk seperti sari buah jeruk akan mempunyai limbah berupa kulit, ampas dan biji. Limbah pengolahan jeruk terutama kulit merupakan sumber serat pangan dan juga salah satu bahan baku produksi pektin yang banyak digunakan pada industri makanan (Herbstreith dan Fox, 2005).

Gambar 2.2 merupakan ampas jeruk yang cenderung dibuang dan tidak dimanfaatkan. Padahal semua bagian ampas jeruk tersebut masih banyak sekali komponen yang dapat dimanfaatkan. Bagian-bagian utama ampas jeruk jika dilihat dari bagian luar sampai ke dalam adalah kulit tersusun atas epidermis, flavedo, kelenjar minyak, ikatan pembuluh. Segmen-segmen terdiri atas dinding segmen, rongga cairan, biji, sedangkan bagian tengahnya terdiri dari ikatan pembuluh dan jaringan parenkim.

Kulit jeruk dapat dibagi menjadi dua bagian utama yaitu flavedo (kulit bagian luar) yang berbatasan dengan epidermis dan albedo (kulit bagian

dalam) yang berupa jaringan busa. Epidermis merupakan bagian luar berfungsi melindungi buah jeruk terdiri dari lapisan lilin, matriks kutin, dinding sel primer dan sel epidermal. Flavedo sebagai lapisan kedua ditandai dengan adanya warna hijau, kuning, orange, dan kelenjar minyak. Pigmen yang terdapat pada flavedo adalah kloroplas dan karotenoid. Dalam perkembangannya kloroplas akan terdegradasi, sehingga buah yang belum matang berwarna hijau menjadi berwarna orange pada saat matang (Albrigo dan Carter, 1977).



**Gambar 2.2 Bagian-bagian ampas jeruk (Kurniasih, 2004)**

Juring atau lamela pada jeruk banyak mengandung pektin. Pektin pada jeruk apabila dimakan atau diolah menjadi jus dengan dagingnya akan bermanfaat sebagai pembersih racun dari dalam tubuh (Kurniasih, 2004).

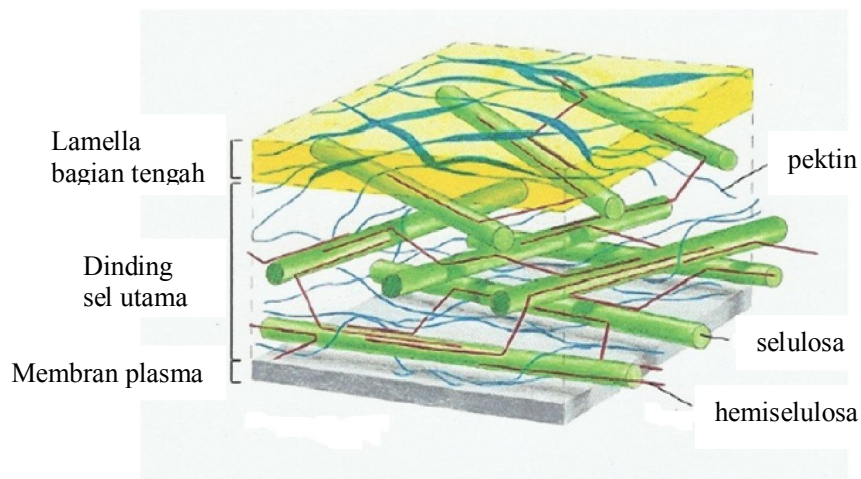
### 2.3 Pektin

Pektin secara alami adalah bagian dari tanaman yang membentuk jaringan sel rantai panjang, terikat pada hemiselulosa,  $\alpha$  selulosa dan komponen lain. Pektin merupakan produk karbohidrat yang dimurnikan dan diperoleh dari hidrolisis asam encer dari bagian dalam kulit buah jeruk yang sebagian besar terdiri dari asam poligalakturonat yang termetoksilasi sebagian berbentuk serbuk kasar atau halus, berwarna putih kekuningan, coklat, hampir tidak berbau.

Pektin secara umum terdapat di dalam dinding sel primer tanaman, khususnya di sela-sela antara selulosa dan hemiselulosa. Senyawa-senyawa pektin berfungsi sebagai perekat antara dinding sel yang satu dengan dinding

sel yang lain. Bagian antara dua dinding sel yang berdekatan tersebut dinamakan lamella tengah (Winarno, 1997).

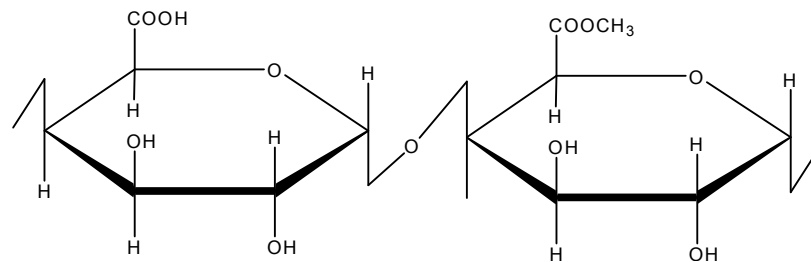
Kata pektin berasal dari bahasa latin *pectos* yang berarti pengental atau yang membuat sesuatu menjadi keras atau padat. Pektin ditemukan oleh Vauquelin dalam jus buah sekitar 200 tahun yang lalu. Nama pektin pertama kali digunakan pada tahun 1824, yaitu ketika Braconnot melanjutkan penelitian yang dirintis oleh Vaquelin. Braconnot menyebut substansi pembentuk gel tersebut sebagai asam pektat (Herbstreith dan Fox, 2005).



**Gambar 2.3 Senyawa pektin pada dinding sel tanaman (IPPA, 2002)**

Kelompok senyawa pektin secara umum disebut substansi pektat yang terdiri atas protopektin, asam pektinat (pektin), dan asam pektat. Protopektin merupakan senyawa pektin yang tidak larut dalam air, dapat dihidrolisis oleh asam, alkali, dan air panas sehingga dapat larut (Kertesz, 1951). Asam pektinat adalah senyawa pektin asam *poligalakturonat* yang mengandung metil ester yaitu sekitar 50 % dari seluruh gugus karboksilat. Pektin adalah senyawa pektin asam *poligalakturonat* yang mengandung (3-6) % gugus metoksil, dapat larut dalam air membentuk jeli dengan gula dalam suasana asam. Asam pektat adalah senyawa pektin yang tidak mengandung gugus metil ester dan banyak terdapat dalam buah dan sayuran yang terlalu matang atau busuk.

Komposisi kandungan protopektin, pektin, asam pektat di dalam buah sangat bervariasi tergantung pada derajat kematangan buah. Pada umumnya, protopektin yang tidak larut dalam air lebih banyak terdapat dalam buah-buahan yang belum matang (Winarno, 1997). Pektin merupakan polimer linier dari asam *D-galakturonat* yang berikatan dengan  $\alpha$ -1,4 glikosidik sehingga membentuk asam *poligalakturonat*. Asam *D-galakturonat* memiliki struktur yang sama seperti struktur *D-galaktosa*, perbedaannya terletak pada gugus alkohol primer C<sub>6</sub> yang memiliki gugus karboksil (Hart *et al.*, 2003). Gugus karboksil ini sebagian mengalami esterifikasi dengan metil menjadi gugus metoksil dan biasanya mengandung sekitar (8-11) % gugus metoksil (Ranganna, 2000).



**Gambar 2.4 Struktur pektin**

Berdasarkan kandungan metoksilnya, pektin dapat dibagi menjadi dua golongan yaitu pektin berkadar metoksil tinggi (HMP) dengan kandungan metoksil minimal 7 %, dan pektin berkadar metoksil rendah (LMP) dengan kandungan pektin maksimal 7 % (Guichard *et al.*, 1991).

Kadar dan mutu pektin dari berbagai tanaman tidak sama tergantung dari sumber bahan yang digunakan, cara perlakuan, dan iklim pada saat pengambilan bahan. Pektin dapat bercampur dengan air dan tersebar di dalamnya membentuk koloid. Koloid pektin termasuk jenis hidrofilik, *reversibel* dimana sifat fisiknya akan kembali seperti semula jika diendapkan, dikeringkan, dan dilarutkan. Pektin berbentuk larutan koloid bersifat asam. Pektin tidak larut dalam alkohol dan dalam pelarut organik seperti metanol, aseton, atau propanol. Kelarutan pektin akan meningkat dengan meningkatnya

derajat esterifikasi dan turunnya berat molekul. Larutan pektin bersifat asam karena adanya gugus karboksilat.

Kelarutan pektin berbeda-beda sesuai dengan kadar metoksilnya. Pektin yang mempunyai kadar metoksil tinggi larut dalam air dingin, sedangkan pektin yang mempunyai kadar metoksil rendah larut dalam asam atau alkali. Proses kelarutan dapat dipercepat dengan pemanasan sehingga pektin yang diperoleh lebih banyak daripada tanpa pemanasan.

Pektin merupakan zat berbentuk serbuk kasar hingga halus yang berwarna putih, kekuningan, kelabu atau kecoklatan dan banyak terdapat dalam buah dan sayuran matang. Menurut Glicksman (1969) pektin kering yang telah dimurnikan berupa kristal putih.

## 2.4 Logam

Logam berasal dari kerak bumi berupa bahan-bahan murni anorganik. Logam berubah akibat pengaruh fisikokimia, biologis atau akibat aktifitas kimia. Masuknya logam ke lingkungan berasal dari berbagai sumber, baik secara alami maupun dari kegiatan manusia. Keberadaan logam secara alami diakibatkan kerusakan secara kimiawi dan kegiatan gunung berapi. Dalam sistem air tawar, pelapukan kimiawi batuan dan tanah di dalam cekungan pengairan merupakan sumber utama logam memasuki permukaan air (Connel dan Miller, 1995).

Logam transisi dalam sistem perairan alamiah pada prinsipnya diatur oleh: (1) pH, (2) jenis ligan, senyawa-senyawa pengkhelet dalam perairan, dan (3) keadaan oksidasi komponen mineral dan lingkungan redoks sistem tersebut. Interaksi dinamis pada batas larutan-padatan menentukan perpindahan logam antara fase cair dan fase padat. Logam transisi dapat berada dalam bentuk endapan, koloid atau larutan.

Umumnya kation logam dalam air berada dalam keadaan ion logam terhidrat  $[M(H_2O)_x]^{n+}$  dan spesies hidroksi  $[MOH(H_2O)_{x-1}]^{+(n-1)}$  dimana kation-kation logam tersebut membentuk kompleks aquo. Reaksi yang melibatkan kation logam pada larutan berair adalah reaksi pertukaran ligan air yang

terkoordinasi dengan ligan, baik anion anorganik maupun molekul organik. Fenomena dimana ligan mampu mengikat logam lebih dari satu ikatan disebut pengompleksan atau pengkhelatan (Stumm dan Morgan, 1996).

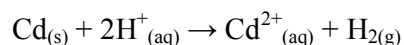
#### 2.4.1 Kadmium

Kadmium merupakan suatu unsur yang terbentuk secara alami di dalam kerak bumi. Kadmium murni bersifat lunak, berwarna putih keperakan dan tahan korosi. Kadmium biasanya tidak berada di lingkungan dalam bentuk murni, tetapi sebagai mineral yang bergabung dengan unsur-unsur lain seperti oksigen (kadmium oksida), klorin (kadmium klorida), atau belerang (kadmium sulfat, kadmium sulfida). Kadmium sangat sering berada di alam sebagai oksida kompleks, sulfida, dan seng karbonat, timah, dan bijih tembaga (Taylor *et al.*, 1999).

Kadmium termasuk unsur golongan transisi. Kadmium dapat digunakan sebagai pembuatan *alloy* dan solder, pelapis logam, sebagai pigmen, menstabilkan bahan plastik dan terdapat dalam baterai (Anonim, 1984). Kelarutan kadmium dalam air dipengaruhi oleh sifat dari sumber kadmium dan keasaman air. Kelarutan kadmium karbonat dan kadmium hidroksida relatif tinggi pada larutan yang bersifat netral (pH 7) (Faust dan Aly, 1981).

Sifat penting logam kadmium antara lain memiliki nomor atom 48, nomor massa 112,411 g mol<sup>-1</sup>, jari-jari atom 1,48 Å, elektronegatifitas 1,68 skala Pauling, densitas 8,69 g cm<sup>-3</sup>, kalor penguapan 99,87 kJ mol<sup>-1</sup>, titik leleh 321,07 °C, dan memiliki titik didih 767 °C. Larutan kadmium stabil sebagai Cd(II) dan bergantung pada pH larutan. Pada keadaan asam dan netral kadmium berada dalam bentuk Cd(II), sedangkan dalam keadaan basa kadmium berada dalam bentuk terhidroksi, kationik, atau anionik. Sifat-sifat lain dari logam kadmium antara lain:

1. Dapat ditempa
2. Melarut dengan lambat dalam asam encer dengan melepaskan hidrogen,



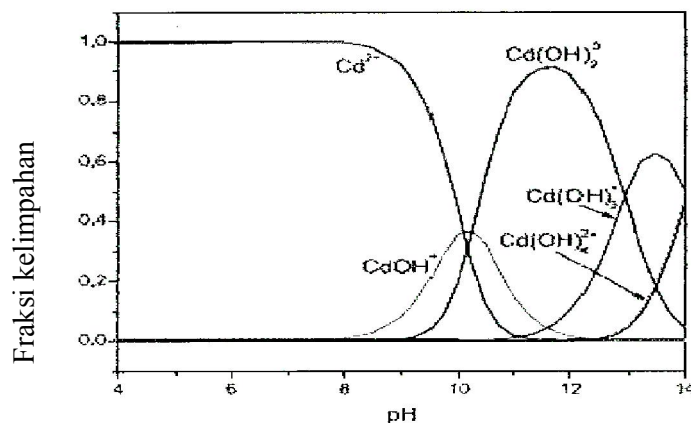
3. Membentuk ion bivalen tak berwarna, seperti:  $\text{CdCl}_2$ ,  $\text{Cd}(\text{NO}_3)_2$ , dan  $\text{CdSO}_4$  yang larut dalam air, sedangkan sulfidanya tidak larut dan berwarna kuning khas.

Kadmium ditemukan pada tahun 1817 oleh Fredrich Stromeyer sebagai sisa dalam seng karbonat. Kadmium sering terdapat dalam jumlah kecil yang tergabung dengan seng karbonat, seperti *sphalerite* ( $\text{ZnS}$ ), sedangkan *greenockite* ( $\text{CdS}$ ) merupakan satu-satunya mineral yang mengandung kadmium dalam jumlah besar. Sebagian besar kadmium diperoleh sebagai produk samping dalam pengolahan logam seng, timah, dan tembaga (Husted, 1999).

#### 2.4.2 Spesiasi kadmium

Bentuk kadmium terlarut hanya hadir dalam valensi +2. Meskipun  $\text{Cd}^{2+}$  *uncomplexed* cukup stabil, kadmium cenderung membentuk kompleks dengan ligan, baik anorganik maupun organik. Kadmium kompleks anorganik yang paling penting adalah dengan hidroksida, klorida, sulfat, bikarbonat, karbonat, sianida, dan amonia.

Kelimpahan spesies Cd-OH dalam air sebagai fungsi pH ditunjukkan pada Gambar 2.5. Diagram distribusi untuk kompleks hidroksi kadmium menunjukkan bahwa  $\text{Cd}^{2+}$ ,  $\text{Cd}(\text{OH})^+$ ,  $\text{Cd}(\text{OH})_2^0$  adalah spesies yang paling signifikan dibawah pH 12.



**Gambar 2.5** Distribusi spesies Cd(II) dalam air murni sebagai fungsi pH pada 25 °C

## 2.5 Adsorpsi

Adsorpsi adalah suatu proses akumulasi adsorbat pada permukaan adsorben yang disebabkan oleh gaya tarik antar molekul atau interaksi kimia. Gaya tarik-menarik dari suatu padatan dapat dibedakan menjadi dua jenis gaya, yaitu gaya fisika dan gaya kimia, yang masing-masing menghasilkan adsorpsi fisika (*physisorption*) dan adsorpsi kimia (*chemisorption*).

Pada adsorpsi fisika, molekul-molekul teradsorpsi pada permukaan dengan ikatan molekul yang lemah. Adsorpsi ini bersifat reversibel sehingga molekul-molekul yang teradsorpsi mudah dilepaskan kembali dengan cara menurunkan tekanan gas atau konsentrasi zat terlarut. Energi adsorpsi yang menyertai adsorpsi fisika adalah rendah yaitu sekitar 10 kJ/mol (Adamson, 1990).

Pada adsorpsi kimia terjadi pembentukan dan pemutusan ikatan, sehingga energi adsorpsinya berada pada kisaran yang sama dengan reaksi kimia. Selain itu ikatan antara adsorben dengan adsorbat cukup kuat sehingga tidak terjadi desorpsi, karena zat yang teradsorpsi menyatu dengan adsorben membentuk satu lapisan tunggal dan bersifat relatif irreversibel. Menurut Adamson (1990), batas minimal energi adsorpsi kimia adalah 20,92 kJ/mol, sedangkan menurut Oscik (1982) perkiraan harga energi adsorpsi kimia berkisar antara 80-650 kJ/mol, dan menurut Lyman, *et al.*, (1995) besar energi adsorpsi kimia adalah 42-420 kJ/mol.

### 2.5.1 Proses Adsorpsi

Proses adsorpsi melibatkan berbagai macam gaya yaitu gaya Van der Waals, elektostatik, ikatan hidrogen, dan ikatan kovalen (Hancock, 1996). Gaya Van Der Waals timbul dari pergerakan awan elektron dari molekul-molekul atau atom-atom yang berdekatan. Pergerakan ini menimbulkan dipol-dipol kecil yang muatannya berlawanan dalam atom yang menyebabkan adanya tarikan yang lemah antar atom maupun antar molekul.



Gaya elektrostastik dihasilkan dari gaya tarik-menarik antar ion yang berlawanan muatannya. Adanya gaya elektrostatik akan mengakibatkan tarikan ion-ion ke permukaan adsorben yang muatannya berlawanan.

Ikatan hidrogen terjadi antar molekul dimana atom hidrogen terikat secara kovalen dengan atom yang sangat elektronegatif. Ikatan hidrogen dapat terjadi pada orientasi molekular.

Ikatan kovalen terbentuk melalui penggunaan elektron secara bersamaan atau pembentukan ikatan kompleks antar gugus donor dengan akseptor tunggal. Ikatan koordinasi situs aktif adsorben dengan ion logam melalui dua atom donor menghasilkan kompleks siklik.

Dipol-dipol, gaya ini menimbulkan tarikan antar dipol permanen dengan dipol lainnya atau dengan molekul-molekul yang dapat terpolarisasi menghasilkan dipol. Dipol merupakan molekul yang mengandung muatan positif dan negatif yang terpisah pada jarak tertentu.

Hidrofob, gaya ini lebih terkait dengan kecenderungan molekul keluar dari pelarut dibandingkan dengan gaya tariknya kepermukaan. Gaya ini berhubungan dengan rusaknya kerangka struktur air yang mengelilingi molekul organik non polar yang kurang tersolvasi.

### 2.5.2 Kinetika adsorpsi

Laju adsorpsi dari larutan tergantung pada banyak faktor, seperti ukuran dan struktur molekul adsorbat, sifat dasar pelarut dan porositas adsorben (Oscik, 1982). Laju adsorpsi berhubungan dengan cepat lambatnya proses adsorpsi yang berlangsung. Tetapan laju adsorpsi dapat ditentukan menggunakan model kinetika adsorpsi. Model kinetika adsorpsi yang banyak digunakan salah satunya adalah model kinetika Langmuir-Hinshelwood. Model kinetika Langmuir-Hinshelwood untuk menentukan laju adsorpsi suatu larutan pada permukaan adsorben digunakan Persamaan 2.1 :

$$\frac{\ln\left(\frac{C_o}{C_t}\right)}{C_o - C_t} + K = \frac{kt}{C_o - C_t} \quad (2.1)$$

Kurva linear  $\frac{\ln\left(\frac{C_0}{C_t}\right)}{C_0 - C_t}$  vs  $\frac{t}{C_0 - C_t}$  dibuat, maka akan diperoleh slope berupa  $k$  dan intersep  $K$ . Dimana  $C_0$  adalah konsentrasi awal adsorbat (mol/L),  $C_t$  adalah konsentrasi adsorben setelah  $t$  menit (mol/L),  $K$  adalah konstanta kesetimbangan, dan  $k$  adalah konstanta laju adsorpsi ( $\text{menit}^{-1}$ ). Sementara Santosa (2001) mengusulkan kinetika yang dapat diaplikasikan untuk asam humat dan kitosan, yaitu seperti Persamaan 2.2 :

$$\frac{\ln\left(\frac{C_{AO}}{C_A}\right)}{C_A} = \frac{kt}{C_A} + K \quad (2.2)$$

Penerapan model kinetika Santosa (2001) kurva linear  $\frac{\ln\left(\frac{C_{AO}}{C_A}\right)}{C_A}$  vs  $\frac{t}{C_A}$ , sehingga diperoleh harga  $k$  dan  $K$  dari slope dan intersep dari kurva linear tersebut. Model kinetika yang diusulkan Santosa (2001) ini memberikan harga  $k$  dan  $K$  yang positif dan dapat dijelaskan secara termodinamika.

Model kinetika order satu semu (pseudo orde satu) yang dikemukakan oleh Lagergren (1989) secara umum dinyatakan dengan Persamaan 2.3 :

$$\frac{dq_t}{dt} = K_1(q_e - q_t) \quad (2.3)$$

Dengan kondisi batas tertentu maka persamaan 2.3 akan menjadi  $\log(q_e - q) = \log q_e - (k/2.303) t$ , kemudian diplotkan  $\log(q_e - q)$  vs  $t$  maka akan diperoleh nilai  $k_1$  dan  $q_e$ .

Model kinetika order dua semu (pseudo orde dua) dikemukakan oleh Ho dkk (2000), yang dinyatakan dengan Persamaan 2.4 :

$$\frac{dq_t}{dt} = K_1(q_e - q_t)^2 \quad (2.4)$$

sehingga persamaan 2.4 menjadi  $\frac{t}{q_t} = \frac{1}{2} k q_e^2 + \frac{t}{q_e}$ , kemudian diplotkan  $(t/q_t)$  vs  $t$ , maka akan diperoleh nilai  $k_2$  dan  $q_e$ .

### 2.5.3 Adsorpsi isotermal Langmuir

Adsorpsi isotermal merupakan suatu keadaan kesetimbangan di mana pada suhu dan tekanan tetap tidak ada perubahan konsentrasi adsorbat pada permukaan padatan dan laju adsorpsi-desorpsinya sama dan merupakan hal yang mendasar dalam menentukan kapasitas adsorpsi suatu adsorbat pada adsorben.

Model adsorpsi isotermal yang banyak digunakan untuk menjelaskan pola adsorpsi isotermal adalah isotermal Langmuir dan isotermal Freundlich. Isotermal Langmuir menggambarkan adsorpsi *monolayer* pada permukaan yang homogen dengan energi adsorpsi sama pada semua situs aktif, sedangkan isotermal Freundlich menjelaskan adsorpsi *multilayer* pada permukaan yang heterogen dengan frekuensi situs berkaitan dengan energi bebas, sehingga penurunan adsorpsi secara eksponensial menyebabkan kenaikan energi bebas (Santosa, 2001). Pada isotermal Langmuir setiap situs aktif hanya dapat mengadsorpsi satu molekul. Ikatan adsorben dengan adsorbat dapat terjadi secara kimia atau fisika (Oscik,1982). Isotermal Langmuir dapat dirumuskan dengan persamaan 2.5 :

$$\frac{C_e}{q_e} = \frac{1}{q_{max}K_L} + \frac{C_e}{q_{max}} \quad (2.5)$$

dimana,  $q_e$  adalah jumlah logam yang teradsorpsi pada keadaan ekuilibrium (mol/g),  $C_e$  adalah konsentrasi ion logam bebas dalam larutan pada keadaan ekuilibrium (mol/L),  $q_{max}$  adalah kapasitas adsorben maksimum dan  $K_L$  adalah konstanta Langmuir yang berhubungan dengan energi adsorpsi. Konstanta Langmuir,  $K_L$  dan kapasitas adsorben maksimum,  $q_{max}$  dapat ditentukan dari kurva linear antara  $C_e/q_e$  terhadap  $C_e$  dengan slope  $1/q_{max}$  dan intersep  $1/q_{max}K_L$ .

Persamaan isotermal Freundlich (1906) digunakan untuk menjelaskan proses adsorpsi non ideal pada permukaan yang heterogen. Heterogenitas dapat disebabkan oleh adanya perbedaan gugus fungsional pada permukaan

adsorben. Secara empiris persamaan isothermal Freundlich dituliskan dalam Persamaan 2.6 sebagai berikut :

$$\log q_e = \log K_F + \frac{1}{n} \log C_e \quad (2.6)$$

dimana,  $q_e$  adalah jumlah logam yang teradsorpsi pada keadaan ekuilibrium (mol/g),  $C_e$  adalah konsentrasi ion logam bebas dalam larutan pada keadaan ekuilibrium (mol/L), dan  $K_F$  adalah konstanta Freundlich yang berhubungan dengan kapasitas adsorpsi dan  $1/n$  adalah faktor heterogenitas. Konstanta Freundlich  $K_F$  dan nilai eksponen  $n$  dapat ditentukan dari kurva linear antara  $\log q_e$  terhadap  $\log C_e$  dengan slope  $1/n$  dan intersep  $\log K_F$ .

## 2.6 Faktor-faktor yang mempengaruhi interaksi logam-ligan

Interaksi logam dengan adsorben dipengaruhi oleh beberapa faktor diantaranya adalah:

### 2.6.1 Sifat Ion logam dan ligan

Sifat ion logam meliputi: (a) ukuran ion logam, makin kecil ukuran ion logam maka kompleks yang terbentuk semakin stabil, (b) polarisabilitas ion logam, makin tinggi polarisabilitas ion logam maka kompleks yang terbentuk semakin stabil, (c) energi ionisasi, makin tinggi energi ionisasi suatu logam maka kompleks yang terbentuk semakin stabil.

Sifat ligan meliputi: (a) kebiasaan, makin kuat basa lewis maka semakin stabil kompleks yang terbentuk, (b) polarisabilitas dan momen dipol, makin tinggi polarisabilitas dan momen dipol suatu logam maka semakin stabil kompleks yang terbentuk, dan (c) faktor sterik, dengan tingginya rintangan sterik yang dimiliki oleh ligan, maka akan menurunkan stabilitas kompleks.

Ion-ion logam yang berukuran kecil, bermuatan positif besar, elektron luarnya sukar terdistorsi dan memberikan polarisabilitas kecil dikelompokkan dalam asam keras. Ion-ion logam yang berukuran besar, bermuatan kecil atau nol, elektron terluarnya mudah terdistorsi dan memberikan polarisabilitas besar dikelompokkan menjadi asam lunak (Huheey, 1993). Ligan-ligan

dengan atom donor yang sangat elektronegatif merupakan basa keras, sedangkan ligan-ligan dengan atom donor yang mudah terpolarisasi adalah basa lunak.

Menurut Folsom (1986), interaksi antara ion logam dengan ligan yang berasal dari bahan alam pada umumnya berlangsung melalui pertukaran ion, yang secara garis besar dapat dibedakan menjadi tiga kelompok, yaitu:

- a) Interaksi pertukaran kation cepat, melibatkan ion  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Li}^{2+}$ ,  $\text{Cs}^+$ ,  $\text{Rb}^+$ ,  $\text{Sr}^{2+}$ , dan  $\text{Ba}^{2+}$ . Kation-kation ini cenderung membentuk kompleks dengan ligan oksigen menghasilkan senyawa kompleks yang relatif tidak stabil, sehingga mengalami pertukaran ion yang cepat dalam air.
- b) Interaksi pertukaran kation kurang cepat, melibatkan  $\text{Mn(II)}$ ,  $\text{Fe(II)}$ ,  $\text{Co(II)}$ ,  $\text{Ni(I)}$ ,  $\text{Cu(II)}$ ,  $\text{Zn(II)}$  dan  $\text{Pb(II)}$ . Kation-kation ini menunjukkan afinitas yang kuat dengan ligan yang mengandung O, N, dan S. Di dalam sistem perairan, logam ini membentuk kompleks yang stabil sehingga tidak ditemukan dalam bentuk bebas.
- c) Interaksi pertukaran kation lambat, melibatkan  $\text{Cu(I)}$ ,  $\text{Ti(I)}$ ,  $\text{Cd(II)}$ ,  $\text{Ag(I)}$ ,  $\text{Au(I)}$ , dan  $\text{Hg(II)}$ . Kation-kation ini mempunyai afinitas yang kuat dengan ligan yang mengandung nitrogen dan sulfur.

Pengklasifikasian HSAB (*Hard-soft acid and base*) dapat diterapkan dalam proses adsorpsi. Kelas (a) akseptor atom yang bermuatan positif besar dan berukuran kecil, tidak memiliki pasangan elektron dalam kulit valensi yang menyebabkan akseptor atom tidak begitu polar. Kelas (b) asam yang memiliki akseptor atom yang bermuatan positif kecil dan berukuran besar, dan sering tidak berbagi pasangan elektron dalam kulit valensi sehingga akseptor atom sangat polar.

Tabel 2.1 Klasifikasi asam-basa Lewis berdasarkan HSAB (Pearson, 1997)

Asam	
Kelas (a) / Keras	Kelas (b) / Lunak
$H^+, Li^+, Na^+, K^+$ $Be^{2+}, Mg^{2+}, Ca^{2+}, Sr^{2+}, Sn^{2+}, Al^{3+}, Se^{3+},$ $Ga^{3+}, In^{3+}, La^{3+}, Cr^{3+}, Co^{3+}, Fe^{3+}, As^{3+},$ $Ir^{3+}, Si^{4+}, Ti^{4+}, Zr^{4+}, Th^{4+}, Pu^{4+}, VO^{2+},$ $UO_2^{2+}, (CH_3)_2Sn^{2+}$ $BeMe_2, BF_3, BCl_3, B(OR)_3$ $Al(CH_3)_3, Ga(CH_3)_3, In(CH_3)_3$ $RPO_2^+, ROPO_2^+, RSO_2^+, ROSO_2^+, SO_3,$ $I^{5+}, I^{7+}, Cl^{7+},$ $R_3C^+, RCO^+, CO_2, NC^+,$ HX (molekul ikatan-hidrogen)	$Cu^+, Ag^+, Au^+, Ti^+, Hg^+, Cs^+$ $Pd^+, Cd^{2+}, Pt^{2+}, Hg^{2+}, CH_3Hg^+, Ti^{3+},$ $Ti(CH_3)_3, RH_3RS^+, RSe^+, RTe^+$ $I^+, Br^+, HO^+, RO^+$ $I^2, Br^2, INC, dll.$ Trinitrobenzene, dll. Chloranil, quinones, dll. Tetracyanoethylene, dll. $O, Cl, Br, I, R_3C$ $M^0$ (atom-atom logam) Bulk metals
Menengah	
$Fe^{2+}, Co^{2+}, Ni^{2+}, Cu^{2+}, Zn^{2+}, Pb^{2+}, B(CH_3)_3, SO_2, NO^+$	
Basa	
Keras	Lunak
$H_2O, OH^-, F^-$ $CH_3CO_2^-, PO_4^{3-}, SO_4^{2-}$ $Cl^-, CO_3^{2-}, ClO_4^-, NO_3^-, ROH, RO^-, R_2O$ $NH_3, RNH_2, N_2H_4$	$R_2S, RSH, RS^-$ $I^-, SCN^-, S_2O_3^{2-}, R_3P, R_3As, (RO)_3P$ $CN^-, RNC, CO$ $C_2H_4, C_6H_6H^-, R^-$
Menengah	
$C_6H_5NH_2, C_5H_5N, N_3^-, Br^-, NO_2^-, SO_3^{2-}, N_2$	

### 2.6.2 Sifat pelarut

Mekanisme adsorpsi tergantung pada gaya interaksi antara molekul adsorbat dengan permukaan, gaya interaksi antara molekul pelarut dengan permukaan adsorben, dan gaya interaksi antara molekul dari komponen larutan dengan lapisan permukaan adsorben dan pori-porinya. Pelarut dapat ikut teradsorpsi atau dapat mendorong proses adsorpsi suatu adsorbat. Pada umumnya zat yang hidrofobik dari larutan encer cenderung teradsorpsi lebih banyak pada permukaan adsorben dibanding zat yang bersifat hidrofilik (Oscik, 1982).

### 2.6.3 pH sistem

Pengikatan kation logam pada permukaan adsorben, seperti halnya pengikatan kation logam oleh ligan terlarut sangat dipengaruhi oleh pH. Pada pH rendah, ligan permukaan cenderung terprotonasi sehingga kation logam

juga berkompetisi dengan  $H^+$  untuk terikat pada ligan permukaan. Sebaliknya pada pH tinggi dimana jumlah ion  $OH^-$  besar menyebabkan ligan permukaan cenderung terdeprotonasi sehingga pada saat yang sama terjadi kompetisi antara ligan permukaan dengan ion  $OH^-$  untuk berikatan dengan kation logam. Dengan demikian akan terdapat suatu kondisi dimana adsorpsi akan mencapai harga optimum.

## **BAB III**

### **LANDASAN TEORI, HIPOTESIS DAN RANCANGAN PENELITIAN**

#### **3.1 Landasan Teori**

Ampas jeruk diketahui mengandung bermacam-macam komponen. Komponen dalam jumlah besar adalah selulosa, hemiselulosa, pektin, dan lignin, sedangkan komponen lain dalam jumlah kecil seperti asam sitrat, gula, *limonen*, dan sebagainya (Inoue *et al.*, 2008). Ampas jeruk ini mempunyai sisi aktif yang dapat dimanfaatkan sebagai adsorben yaitu pektin. Pektin merupakan polimer dari asam *D-galakturonat* yang dihubungkan oleh ikatan  $\alpha$ -1,4 *glikosidik*, selain itu dikenal juga kelompok senyawa pektin yang terdiri dari beberapa senyawa seperti protopektin, asam pektinat, pektin, dan asam pektat. Kelompok senyawa pektin tersebut secara umum disebut sebagai substansi pektat (Biswas *et al.*, 2007).

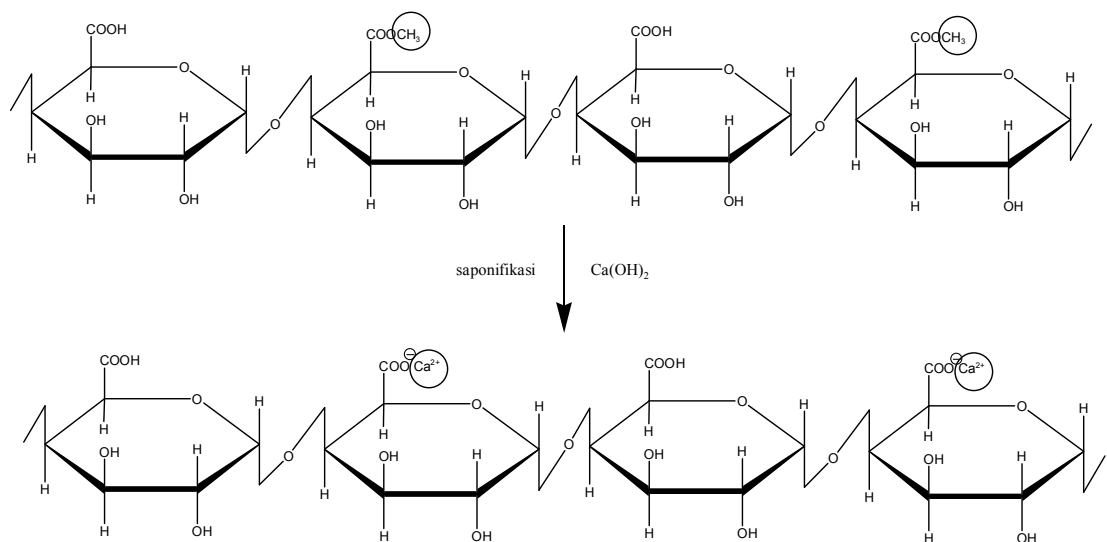
Gugus karboksilat pada pektin dapat bereaksi dengan ion logam berat membentuk senyawa kompleks. Reaktivitas pektin terhadap ion logam berat sangat tergantung pada derajat esterifikasinya (Biswas *et al.*, 2007). Oleh karena itu untuk meningkatkan daya adsorpsi pektin perlu dilakukan modifikasi dengan cara saponifikasi dengan penambahan  $\text{Ca(OH)}_2$ , hal ini bertujuan mengurangi gugus metoksil dari pektin, sehingga jumlah gugus karboksilat yang mengikat ion logam berat menjadi lebih besar dibandingkan dengan jumlah logam yang terikat pada pektin yang tidak dimodifikasi (Kupchik *et al.*, 2005).

Marín *et al.* (2007) mengaplikasikan pektin sebagai adsorben Cd(II) dengan kisaran pH 2-6. Hasil kapasitas adsorpsi adalah 0,40, 0,41, dan 0,43 mmol/g pada pH 4, 5, dan 6. Dari hasil penelitian marin terlihat bahwa dengan meningkatnya pH maka kapasitas adsorpsi juga meningkat.

Li (2008) telah melakukan penelitian tentang saponifikasi selulosa dengan NaOH. Peneliti ini mencoba menerapkan NaOH sebagai bahan pensaponifikasi



pektin dengan harapan hasilnya akan mampu meningkatkan kemampuan adsorpsi atas Cd(II).



**Gambar 3.1 Reaksi saponifikasi pektin dengan  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  (Inoue *et al.*, 2005)**

Sebagian gugus karboksil pada polimer pektin mengalami esterifikasi dengan metil (metilasi) menjadi gugus metoksil. Senyawa ini disebut sebagai asam pektinat atau pektin. Bila kandungan metil ester yaitu sekitar 50 % dari seluruh gugus karboksilat maka disebut pektinat (Azouaou *et al.*, 1997). Protopektin adalah senyawa pektin yang tidak larut dalam air dan dapat terhidrolisis oleh asam, alkali, dan air panas sehingga dapat larut. Asam pektat adalah senyawa pektin yang tidak mengandung gugus metil ester dan terdapat dalam buah yang terlalu matang serta sayuran busuk (Winarno, 1997). Pektin inilah yang dapat dijadikan sebagai adsorben. Penulis memerlukan beberapa langkah untuk memodifikasi pektin yang terdapat dalam substansi pektat agar menjadi permukaan padatan yang kaya gugus karboksilat ( $-\text{COOH}$ ).

### 3.2 Hipotesis

- Hipotesis 1** : Apabila saponifikasi pektin dengan NaOH berhasil, maka karakterisasi dengan FT-IR akan menunjukkan perbedaan pita serapan antara pektin dengan pektin yang tersaponifikasi pada bilangan gelombang sekitar  $1730-1750\text{ cm}^{-1}$  yang menunjukkan vibrasi ulur gugus ester.
- Hipotesis 2** : Apabila spesies kadmium tergantung dari pH larutan, yaitu kadmium pada pH asam ( $< 5$ ) sebagian besar dalam bentuk  $\text{Cd}^{2+}$  dan COOH ada sebagai COOH, sedangkan kadmium pada pH basa ( $> 7$ ) sebagian besar dalam bentuk kadmium hidroksida dan COOH sebagian besar ada sebagai  $\text{COO}^-$ , maka adsorpsi akan maksimum pada saat COOH ada sebagai  $\text{COO}^-$  dan kadmium masih ada sebagai  $\text{Cd}^{2+}$ , yaitu sekitar pH 6-7.
- Hipotesis 3** : Apabila gugus  $-\text{COO}^-\text{Na}^+$  merupakan situs yang paling dominan dalam mengikat kation logam, dan diasumsikan adsorpsi hanya membentuk satu lapisan (*monolayer*), maka interaksi antara logam dengan pektin-Na akan mengikuti pola adsorpsi isotermal Langmuir.

### 3.3 Rancangan Penelitian

Penelitian diawali dengan mengisolasi pektin yang terdapat dalam ampas jeruk *Citrus sinensis L. Osbeck*, yang dilakukan menurut metode Inoue *et al.* (2005), yaitu ampas jeruk disaponifikasi dengan  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  yang mengacu pada penelitian yang telah dilakukan oleh peneliti terdahulu (Marin, 2007), dengan mengacu pada metode penelitian sebelumnya, maka ampas jeruk *Citrus sinensis L. Osbeck* disaponifikasi dengan NaOH sehingga diperoleh pektin-Na, kemudian dianalisis dengan spektrofotometer inframerah untuk mengetahui perubahan gugus fungsional yang terdapat pada adsorben. Hal ini dilakukan sebagai parameter keberhasilan saponifikasi dan juga sebagai pembuktian hipotesis 1.

Hipotesis 2 dibuktikan dengan menginteraksikan Cd(II) dengan pektin-Na pada berbagai variasi pH, waktu, dan konsentrasi optimum  $\text{Cd}^{2+}$ .

Hipotesis 3 dapat dibuktikan dengan menginteraksikan adsorben dengan larutan Cd(II) dan mempelajari karakteristik adsorpsi dengan menentukan kapasitas dan laju adsorpsi.

## **BAB IV**

### **METODE PENELITIAN**

#### **4.1 Alat dan Bahan**

##### **4.1.1 Alat**

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain: *blender*, penggerusan (lumpang dan mortal), ayakan 200 *mesh* (Retsch), kertas saring, Whatman 42, pH indikator universal, pH meter (Horiba F-52), desikator, *oven* (Memmert), pengaduk magnet, neraca analitik, pompa vacum (BUCHI V-500), penyaring Buchner, *shaker* (VRN-200), buret, alat penunjang berupa alat-alat gelas dan plastik (pipet, gelas beker, gelas ukur, labu takar, pipet volum, erlenmeyer, corong, gelas arloji, pipet tetes, pengaduk gelas) spektrofotometer inframerah (*Shimadzu* FTIR 8201PC), spektrofotometer serapan atom (Perkin Elmer AAS-3000).

##### **4.1.2 Bahan**

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah: Ampas jeruk *Citrus sinensis* (L.) Osbeck, HCl (p.a.), NaOH (p.a.),  $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , indikator fenolftalin (pp), MO,  $\text{CdSO}_4 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$ , akuades (hasil distilasi Lab. Kimia Dasar UGM), akuabides (hasil distilasi Lab. Kimia Dasar UGM), buffer pH 4 dan buffer pH 7.

#### **4.2 Prosedur Penelitian**

##### **4.2.1 Pembuatan Adsorben**

###### **a. Pembuatan adsorben pektin-Na.**

Jeruk diperas hingga menyisakan ampas kemudian dihancurkan dengan menggunakan blender. Sebanyak 100 g ampas jeruk ditambah dengan larutan NaOH divariasi pH (10, 10,5, 11, 11,5, 12 dan 12,5) dan diaduk dengan pengaduk magnet selama 24 jam kemudian hasil yang diperoleh disaring dan dicuci dengan akuades hingga pH netral dan dikeringkan dalam oven pada suhu 70 °C selama 24 jam.

### **b. Pembuatan adsorben pektin-Ca**

Jeruk diperas hingga menyisakan ampas kemudian dihancurkan dengan menggunakan blender. Sebanyak 100 g ampas jeruk ditambah dengan  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  divariasikan pH (10, 10,5, 11, 11,5, 12 dan 12,5) dan diaduk dengan pengaduk magnet selama 24 jam kemudian hasil yang diperoleh disaring dan dicuci dengan akuades hingga pH netral dan dikeringkan dalam oven pada suhu  $70\text{ }^\circ\text{C}$  selama 24 jam.

### **c. Preparasi pektin- $\text{H}^+$**

Sebanyak 2 g pektin-Na yang divariasikan pH ditempatkan dalam botol berbeda, masing-masing ditambahkan dengan 500 mL 0,1 M HCl dan di-*shaker* selama 2 jam kemudian hasil yang diperoleh disaring dan dicuci dengan akuades hingga pH netral dan dikeringkan dalam oven pada suhu  $70\text{ }^\circ\text{C}$  selama 24 jam.

### **d. Penentuan Total Pertukaran Proton.**

Sebanyak 50 pektin- $\text{H}^+$  mg dengan 30 ml 0,01 M NaOH dicampurkan dengan dua cara yaitu ada yang di-*shaker* selama 3 jam dan ada yang didiamkan 24 jam (tanpa di-*shaker*) lalu disaring dan filtratnya dititrasi dengan larutan 0,01 M HCl menggunakan indikator fenolftalin (pp). Hasil kesetimbangan titrasi tersebut merupakan konsentrasi akhir ( $C_e$ ). Konsentrasi NaOH yang distandarisasi merupakan konsentrasi awal ( $C_o$ ). Total kapasitas pertukaran ion ( $q$ ) diperoleh dari persamaan 4.1:

$$q = \frac{C_o - C_e}{W_{Gel}} \times V \quad (4.1)$$

### **e. Uji stabilitas adsorben pektin-Na pada berbagai keasaman medium.**

Dari adsorben pektin-Na yang paling efektif sebagai adsorben diambil sekitar 50 mg ditambah dengan 15 mL akuades dan 0,1 M HCl untuk variasi pH asam dan 0,1 M NaOH untuk variasi pH basa. Variasi pH (1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12). Larutan di-*shaker* selama 24 jam pada suhu ruangan. Larutan disaring lalu dikeringkan menggunakan oven pada suhu  $70\text{ }^\circ\text{C}$  hingga berat konstan. Kertas saring dengan berat yang konstan ditimbang dan dikurangi berat kertas saring

mula-mula (sebelum digunakan). Bila selisih berat kecil maka adsorben tersebut stabil baik pada pH asam maupun pada pH basa.

#### **4.2.2 Pembuatan larutan induk Cd(II) 1000 ppm.**

Larutan induk Cd(II) 1000 ppm dibuat dengan melarutkan kristal kadmium sulfat hidrat sebanyak 1,7115 gram dalam labu ukur 250 mL kemudian diencerkan dengan akuabides sampai tanda batas. Larutan Cd(II) 100 ppm dibuat dengan memasukkan 10 mL larutan Cd(II) 1000 ppm ke dalam labu ukur 100 mL diencerkan dengan akuabides sampai tanda batas.

#### **4.2.3 Adsorpsi Cd(II) pada adsorben.**

##### **a. Pengaruh pH.**

Sebanyak 30 mg pektin-Na direndam dalam 15 mL larutan Cd(II) 100 ppm selama 24 jam. pH divariasikan menggunakan 0,1M HCl dan 0,1M NaOH sambil diaduk pada titik pH 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, dan 9. Setelah itu larutan disaring dengan kertas saring whatman 42, kemudian konsentrasi logam dalam filtrat diukur secara SSA pada panjang gelombang 228,8 nm. Harga optimum digunakan sebagai dasar untuk kondisi pengamatan lebih lanjut.

##### **b. Pengaruh Waktu.**

Sebanyak 30 mg pektin-Na direndam dalam 15 mL larutan Cd(II) 100 ppm dengan waktu yang bervariasi (3, 5, 10, 25, 50, 80, 120, 180, 720, dan 1440) menit. Larutan disaring dengan kertas saring whatman 42, kemudian konsentrasi logam dalam filtrat diukur secara SSA pada panjang gelombang 228,8 nm.

##### **c. Pengaruh konsentrasi.**

Sebanyak 30 mg pektin-Na direndam dalam 15 mL larutan logam Cd(II). Konsentrasi untuk setiap larutan divariasikan dari 10, 25, 50, 100, 150, dan 300 ppm. Setelah diinteraksikan selama 3 jam, filtrat diukur secara SSA pada panjang gelombang 228,8 nm.

##### **d. Penentuan selektivitas adsorben pektin-Na terhadap Cd(II) dengan adanya logam lain**

Campuran Cd(II) dan Pb(II) atau Zn(II) dengan variasi perbandingan (1:1, 1:2, 1:3, 2:1, 3:1) dalam mol dikondisi pada kondisi optimum larutan Cd(II). Sebanyak 15 mL larutan campuran yang telah divariasi perbandingan diukur menggunakan SSA sebagai konsentrasi awal. Sebanyak 15 mL larutan campuran yang telah divariasi perbandingan diinteraksikan dengan 30 mg pektin-Na dan di-*shaker* selama waktu optimum Cd(II) lalu disaring dengan kertas saring whatman 42. Filtrat Cd(II) dan Pb(II) yang telah diinteraksikan dengan adsorben diukur menggunakan SSA sebagai konsentrasi akhir. Selisih konsentrasi awal dan konsentrasi akhir adalah konsentrasi logam yang teradsorpsi.

## BAB V

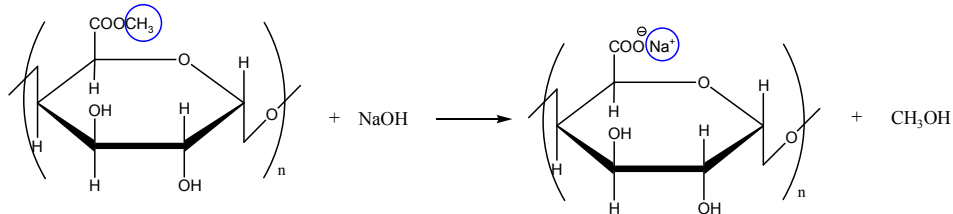
### HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 5.1 Isolasi pektin dan karakterisasinya

Isolasi pektin dari ampas jeruk *Citrus sinensis* (L.) Osbeck dilakukan dengan menggunakan metode yang dilakukan oleh Inoue (2005) yang terdiri dari tahap preparasi ampas jeruk tersaponifikasi, preparasi pektin-H<sup>+</sup>, penentuan total pertukaran proton, stabilitas adsorben pektin-Na terhadap perubahan keasaman.

##### 5.1.1 Preparasi ampas jeruk *Citrus sinensis* (L.) Osbeck tersaponifikasi NaOH

Penelitian ini menggunakan bagian kulit dan albedo buah jeruk sebagai sumber pektin karena lebih banyak mengandung pektin daripada jaringan parenkimnya, sedangkan kandungan pektin dalam tanaman sangat bervariasi, maka dalam tahap selanjutnya larutan dibuat dengan variasi pH 10; 10,5; 11; 11,5; 12; dan 12,5 dalam kondisi basa. Menurut Winarno (1997), pada pH yang semakin rendah jumlah pektin yang dihasilkan semakin sedikit, karena terjadinya proses sineresis, yaitu keluarnya air dalam gel pada suhu kamar. Variasi pH dibuat dengan cara menambahkan NaOH untuk membuat adsorben pektin-Na. Penambahan NaOH tersebut bertujuan melepaskan gugus metil pada senyawa pektin dan digantikan oleh Na<sup>+</sup> sesuai dengan reaksi berikut (Gambar 5.1).



**Gambar 5.1 Saponifikasi pektin dengan NaOH**

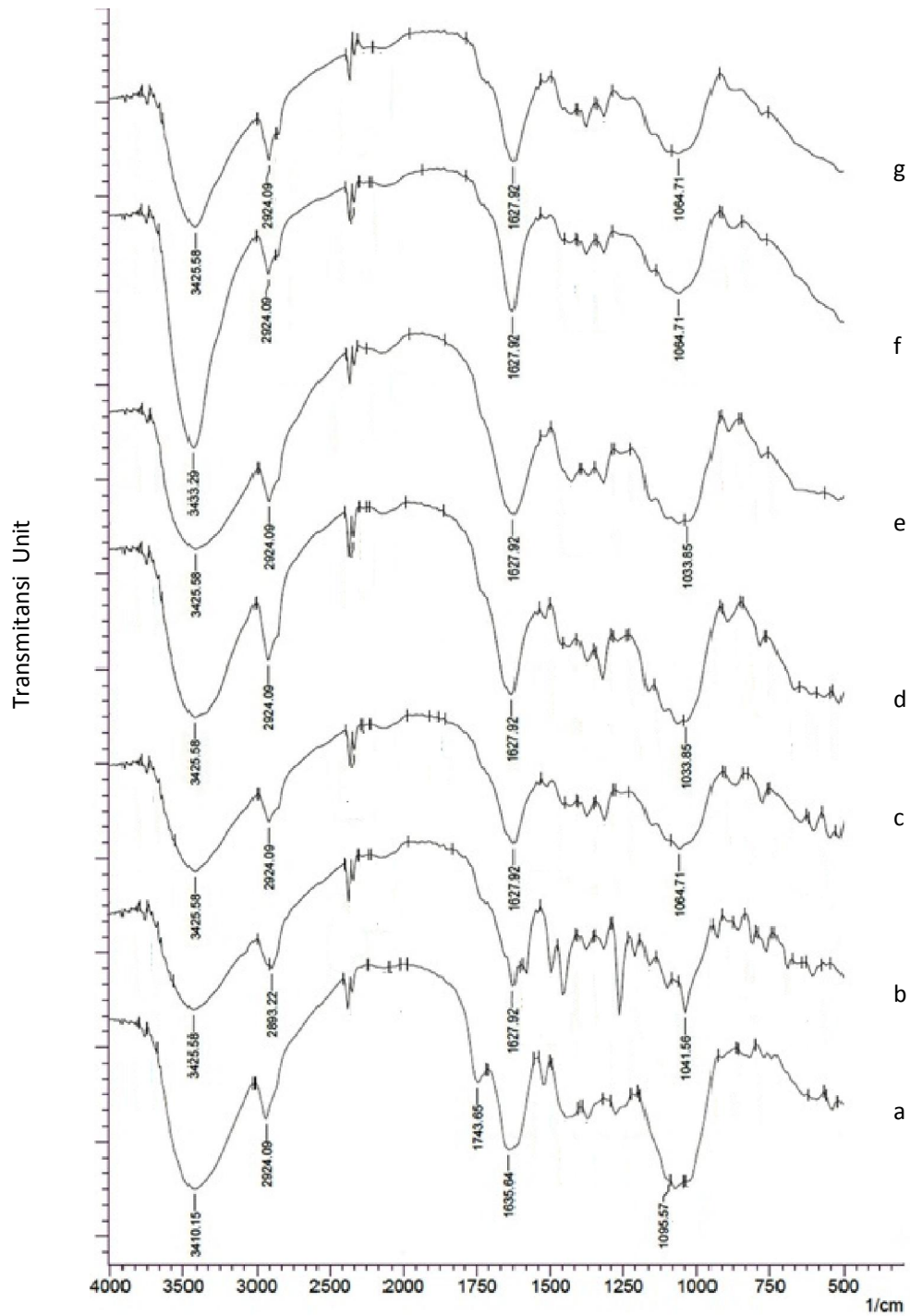
Karakterisasi pektin-Na dari jeruk *Citrus sinensis* (L.) Osbeck dalam berbagai pH (10, 10,5, 11, 11,5, 12, dan 12,5) dilakukan dengan menggunakan



FT-IR, hal ini bertujuan untuk membuktikan saponifikasi pektin dengan menggunakan NaOH benar terjadi sesuai dengan harapan peneliti.

Ion  $\text{Na}^+$  pada pektin-Na yang terbentuk setelah proses saponifikasi, di dalam air  $-\text{COO}^-\text{Na}^+$  akan mudah terionisasi menjadi gugus  $-\text{COO}^-$  sehingga akan mudah digunakan untuk mengadsorpsi kation logam bila dibandingkan  $\text{COOCH}_3$  yang belum disaponifikasi NaOH. Untuk mengetahui terlepasnya gugus metil pada proses saponifikasi, serbuk pektin-Na dikarakterisasi dengan spektrofotometer inframerah. Hasil karakterisasi ditunjukkan pada Gambar 5.2.

Gambar 5.2 memperlihatkan perbedaan antara spektra IR untuk pektin dan pektin-Na dalam berbagai pH, hal ini menunjukkan bahwa kemungkinan besar pektin telah dapat disaponifikasi. Untuk membuktikan hal tersebut, dapat dilihat pada spektra IR pektin. Ester memiliki dua pita serapan yang kuat, yang berasal dari vibrasi ulur  $\text{C}=\text{O}$  dan  $\text{C}-\text{O}$ . Pita serapan pada bilangan gelombang  $1743,65 \text{ cm}^{-1}$  dan  $1635,64 \text{ cm}^{-1}$  menunjukkan vibrasi ulur  $\text{C}=\text{O}$  dari gugus ester. ini diperkuat dengan adanya serapan pada daerah  $1100-1300 \text{ cm}^{-1}$  yaitu ikatan  $\text{C}-\text{O}$  yang membedakan dengan gugus keton. Pada pektin-Na baik pada pH 10, 10,5, 11, 11,5, 12, dan 12,5 tidak ditemui pita serapan pada bilangan gelombang  $1743,65 \text{ cm}^{-1}$ . Pada spektra IR pektin terlihat adanya pergeseran pada pita disekitar  $1635,64 \text{ cm}^{-1}$  kearah bilangan gelombang yang lebih kecil. Hal tersebut dimungkinkan karena terlepasnya gugus metil dari gugus ester yang terdapat dalam pektin dan digantikan oleh ion  $\text{Na}^+$ . Untuk memperkuat bahwa telah terjadi proses saponifikasi dan untuk mengetahui pektin-Na yang paling efektif sebagai adsorben, maka dilakukan uji pertukaran proton.



**Gambar 5.2** Spektra inframerah (a) pektin ampas jeruk, (b) pektin-Na pH 10, (c) pektin-Na pH 10,5, (d) pektin-Na pH 11, (e) pektin-Na pH 11,5, (f) pektin-Na pH 12, (g) pektin-Na pH 12,5.

**Tabel 5.1 Pita absorpsi FTIR**

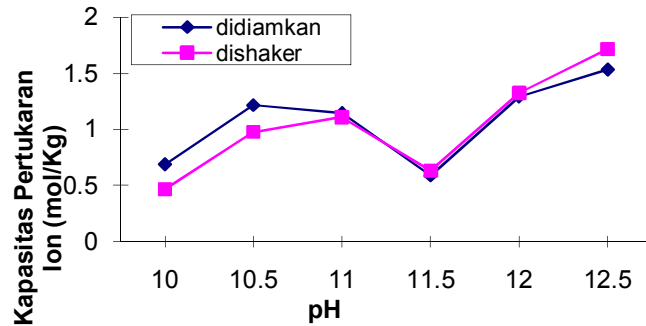
<b>Gugus</b>	<b>Senyawa</b>	<b>Frekuensi (cm<sup>-1</sup>)</b>
O-H	Ikatan-H	3410,15
CSP <sup>3</sup> -H	Alkana	2924,09
C=O	Ester	1743,65 dan 1635,64
C-O	Ester	1095,57

### 5.1.2 Preparasi pektin-H<sup>+</sup>

Sebanyak 2 g pektin yang telah disaponifikasi dari masing-masing variasi pH dicuci menggunakan 0,1M HCl, langkah ini bertujuan untuk mengganti ion Na<sup>+</sup> yang terdapat di dalam pektin-Na dengan ion H<sup>+</sup>. Setelah dicuci menggunakan HCl, pektin disaring dan dicuci menggunakan akuades sampai pH netral tujuannya menghilangkan pengotor-pengotor yang bersifat polar seperti Na<sup>+</sup> dan Cl<sup>-</sup> agar tidak mengganggu dalam proses titrasi. Selanjutnya, pektin-H<sup>+</sup> dikeringkan pada suhu 70 °C selama 24 jam. Pemanasan bertujuan untuk menguapkan air dan serta memperluas permukaan.

### 5.1.3 Penentuan pertukaran proton

Sebanyak 50 mg pektin-H<sup>+</sup> dari masing-masing variasi pH ditambah 30 mL 0,01M NaOH tujuannya agar ion H<sup>+</sup> tergantikan oleh ion Na<sup>+</sup>, sisa larutan NaOH yang tidak berikatan dengan pektin-H<sup>+</sup> dititrasi menggunakan HCl dan indikator PP, tujuannya untuk mengetahui kemampuan pertukaran kation pada adsorben pektin-Na. Semakin sedikit volume HCl yang dibutuhkan untuk titrasi NaOH sisa yang tidak berikatan dengan pektin-Na, maka semakin banyak gugus karboksilat dalam pektin mengikat Na<sup>+</sup>.

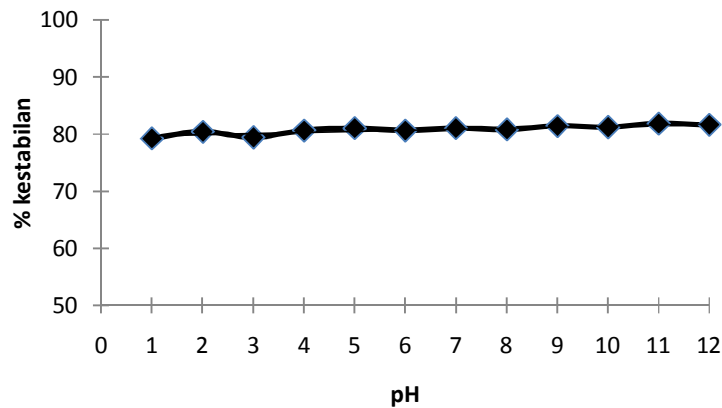


**Gambar 5.3 Grafik pertukaran proton pektin-Na**

Persamaan 4.1 digunakan untuk menghitung harga kapasitas pertukaran ion sebagai fungsi pH yang hasilnya diberikan pada Gambar 5.3. Terlihat pada Gambar 5.3 bahwa pektin-Na pH 12,5 menjadi yang paling efektif sebagai adsorben.

#### 5.1.4 Stabilitas adsorben pektin-Na terhadap pH

Hasil uji stabilitas pektin-Na dapat dilihat pada Gambar 5.4. Kestabilan pektin-Na pada kondisi asam maupun basa cenderung stabil, dengan persentase kestabilan sekitar 80%. Nilai kesabilan diperoleh dari hasil bagi antara berat awal pektin-Na mula-mula dengan berat pektin-Na setelah dikondisikan pada suasana asam atau suasana basa dikali 100%.

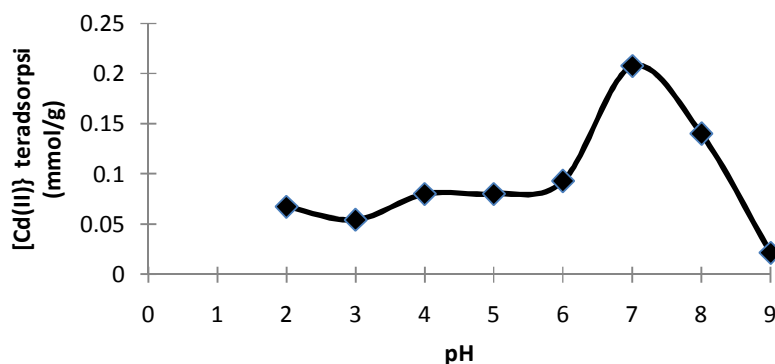


**Gambar 5.4 Grafik stabilitas adsorben pektin-Na**

## 5.2 Adsorpsi

### 5.2.1 Pengaruh pH terhadap adsorpsi Cd(II)

Telah diketahui bahwa derajat keasaman (pH) air memiliki pengaruh besar terhadap bentuk fisik logam, kimia logam dan senyawa logam di lingkungan perairan, karena pH mengontrol kelarutan dan bentuk spesies logam. Peningkatan keasaman larutan meningkatkan konsentrasi ion logam bebas di dalam larutan. Hal ini akibat dari kompetisi antara  $H^+$  dan ion logam dalam berikatan dengan ligan organik dan anorganik (Campbell dan Stokes, 1985). Secara umum spesies logam Cd(II) di perairan didominasi oleh ion bebas pada kisaran pH yang luas. Untuk mempelajari pengaruh pH terhadap adsorpsi, larutan Cd(II) diinteraksikan dengan pektin-Na pada berbagai pH. Banyaknya Cd(II) yang terserap oleh adsorben pektin-Na dapat ditunjukkan pada Gambar 5.5.

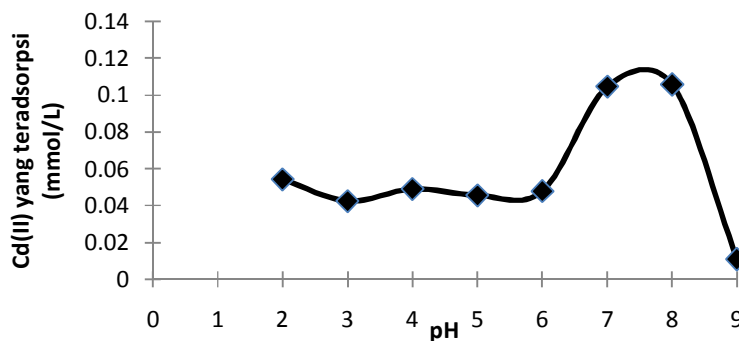


**Gambar 5.5 Adsorpsi logam Cd(II) pada berbagai pH**

Gambar 5.5 memperlihatkan adsorpsi logam Cd(II) pada berbagai pH oleh pektin-Na. Untuk mengadsorpsi Cd(II) dalam larutan oleh pektin-Na, Cd(II) dalam larutan harus mampu menggantikan ion  $Na^+$  pada gugus  $COONa$  ketika di dalam larutan logam. Pada pektin-Na gugus aktif yang berperan dalam mengadsorpsi logam Cd(II) adalah  $COO^-$  (Gambar 5.1) dan dipengaruhi pula oleh derajat ionisasi yang bergantung pada pH larutan. Pada pH 2 dan 3 Cd(II) yang teradsorpsi sangat kecil, hal ini disebabkan pada kondisi asam  $COO^-$  ada sebagai  $COOH$ . Walaupun kadmium berada dalam bentuk  $Cd^{2+}$ , Cd(II) yang teradsorpsi

sangat kecil, karena banyaknya ion  $H^+$  pada sistem menyebabkan pektin-Na cenderung terprotonasi sehingga sulit bagi Cd(II) untuk berinteraksi dengan  $COO^-$ . Hal ini menjadikan situs aktif adsorben pektin-Na dipenuhi hidrogen sehingga menghalangi proses adsorpsi.

Gambar 5.5 memperlihatkan pada pH 7 Cd(II) yang teradsorpsi paling besar. Hal ini dikarenakan pada kondisi netral gugus COOH sebagian besar ada sebagai  $COO^-$  akibat proses protonasi gugus asam yaitu ion  $H^+$  pada adsorben. Proses protonasi ini menjadikan permukaan adsorben dipenuhi oleh muatan negatif, sehingga memudahkan logam Cd(II) berinteraksi dengan adsorben. Pada  $pH > 7$  terjadi penurunan Cd(II) yang teradsorpsi, hal ini disebabkan karena  $Cd(OH)_2$  telah terbentuk. Harga  $K_{sp}$   $Cd(OH)_2$  pada  $25\text{ }^\circ\text{C}$  yaitu  $1,2 \times 10^{-14}$  sehingga secara teoritis ion  $Cd^{2+}$  akan mengendap pada pH 9,56 dengan konsentrasi  $Cd^{2+}$  sebesar  $1,62\text{ mg L}^{-1}$  (Douglas *et al.*, 1994). Fakta ini didukung dengan hasil penelitian yang menunjukkan penurunan Cd(II) yang teradsorpsi setelah pH 9 dan terbentuknya endapan dapat diketahui dari hasil percobaan larutan blanko pada Gambar 5.6, sebagai berikut :



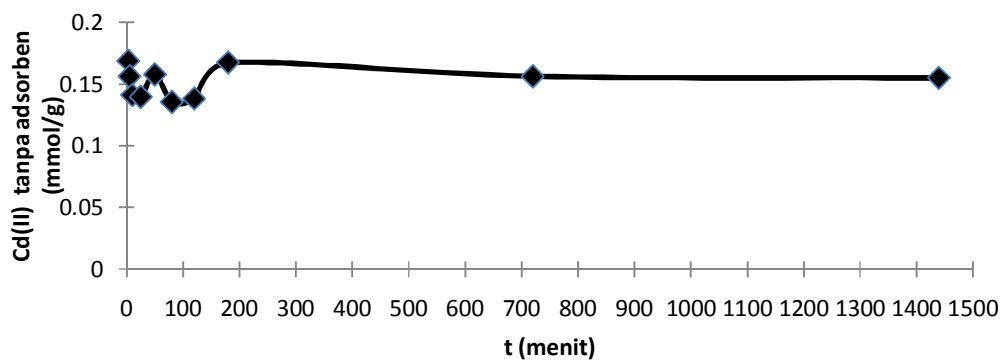
**Gambar 5.6 Variasi pH larutan blanko Cd(II)**

### 5.2.2 Kinetika adsorpsi Cd(II) pada pektin-Na

Salah satu faktor yang mempengaruhi adsorpsi logam adalah waktu interaksi antar logam dengan adsorben. Dengan bertambahnya waktu interaksi, jumlah logam yang teradsorpsi juga akan semakin banyak sampai pada suatu titik di mana seluruh situs aktif pada adsorben telah jenuh, sehingga jumlah logam

yang terikat tidak lagi mengalami penambahan secara signifikan. Banyaknya Cd(II) yang teradsorpsi oleh pektin-Na sebagai fungsi waktu interaksi ditunjukkan dalam Gambar 5.7.

Gambar 5.7 memperlihatkan bahwa banyaknya Cd(II) yang teradsorpsi oleh adsorben pektin-Na berlangsung cepat sebelum menit ke-10, selanjutnya adsorpsi berlangsung lambat bahkan cenderung konstan sampai menit ke-180 (3 jam), setelah menit ke-180 penambahan waktu interaksi tidak lagi diikuti dengan bertambahnya Cd(II) yang teradsorpsi secara signifikan, maka peneliti mengambil waktu yang terlama yakni pada menit ke-180.



**Gambar 5.7 Pengaruh waktu interaksi terhadap adsorpsi logam Cd(II) pada pektin-Na**

Kinetika adsorpsi pektin-Na dan pektin-Ca terhadap Cd(II) dikaji dengan menggunakan model kinetika reaksi orde-1, orde-2, pseudo orde satu dan pseudo orde dua. Kinetika adsorpsi dipelajari dengan menghitung sisa Cd(II) setelah adsorpsi dengan berbagai variasi waktu adsorpsi. Kinetika reaksi orde-1 dan orde-2 ditentukan dengan persamaan berikut (Moore dan Pearson, 1981):

$$\ln C_t = -k_1 t + \ln C_0 \quad (5.1)$$

$$1/C_t = k_2 t + (1/C_0) \quad (5.2)$$

Untuk kinetika reaksi pseudo orde-1 dan pseudo orde-2 ditentukan dengan menggunakan persamaan Lagergren (1989) dan persamaan Ho et al., (2000), sebagai berikut:

$$\log (q_e - q_t) = \log q_e - (k_3/2,303)t \quad (5.3)$$

$$t/q_t = 1/(k_4q_e^2) + (1/q_e)t \quad (5.4)$$

dimana,  $C_t$  adalah konsentrasi sisa Cd(II) pada saat  $t$  (mmol/L),  $C_0$  adalah konsentrasi awal Cd(II) (mmol/L),  $q_e$  dan  $q_t$  adalah Cd(II) yang teradsorpsi setelah setimbang dan pada saat  $t$ ,  $k_1$  dan  $k_2$  adalah masing-masing konstanta laju reaksi orde-1 dan orde-2,  $k_3$  dan  $k_4$  adalah masing-masing laju reaksi pseudo orde-1 dan pseudo orde-2, dengan membuat kurva  $\ln (C_0/C_t)$  versus  $t$  untuk kinetika reaksi orde-1, kurva  $(1/C_t)$  versus  $t$  untuk kinetika orde-2, kurva  $\log (q_e - q_t)$  versus  $t$  untuk kinetika reaksi pseudo orde-1, dan kurva  $t/q_t$  versus  $t$  untuk kinetika reaksi pseudo orde-2. Hasil kajian kinetika reaksi adsorpsi pektin-Na terhadap Cd(II) disajikan pada Tabel 5.2.

**Tabel 5.2 Model kinetika adsorpsi Cd(II) pada pektin-Na**

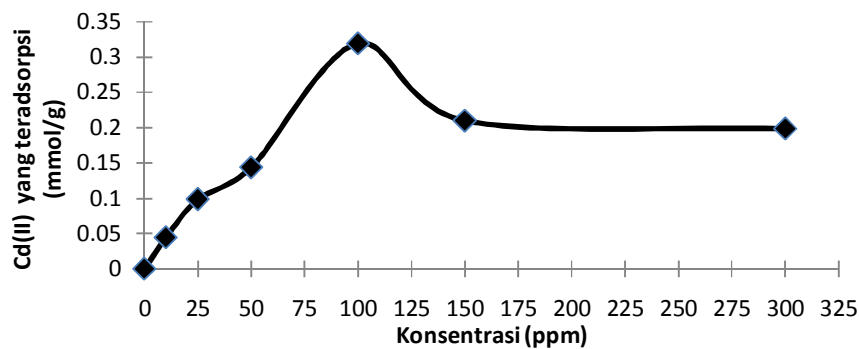
Pektin-Na		
Model kinetika	Tetapan laju reaksi (k)	$r^2$
Orde-1	$1 \times 10^{-5} \text{ menit}^{-1}$	0,023
Orde-2	$1 \times 10^{-5} \text{ L mmol}^{-1} \text{ menit}^{-1}$	0,021
Pseudo orde-1	$1,737 \times 10^{-4} \text{ menit}^{-1}$	0,107
Pseudo orde-2	$3,68 \text{ g mmol}^{-1} \text{ menit}^{-1}$	0,999

Menurut data kinetika Tabel 5.2 di atas apabila dilihat linearitasnya, adsorpsi Cd(II) pada pektin-Na cenderung mengikuti pola kinetika reaksi pseudo orde-2. Hal ini dimungkinkan karena dalam proses adsorpsi yang berperan penting adalah Cd(II) dan gugus  $\text{COO}^-$  pada pektin-Na, walaupun dalam sistem terkandung pula  $\text{H}^+$  dan  $\text{Na}^+$ .



### 5.2.3 Pengaruh konsentrasi awal dan studi termodinamika terhadap adsorpsi Cd(II) pada pektin-Na

Banyaknya logam yang teradsorpsi oleh pektin-Na dalam percobaan ini disajikan dalam grafik pada Gambar 5.8. Untuk menentukan seberapa besar Cd(II) dalam larutan yang teradsorpsi maksimum oleh adsorben, dipelajari pengaruh konsentrasi awal dari larutan logam Cd(II) terhadap proses adsorpsi.



**Gambar 5.8 Pengaruh variasi konsentrasi terhadap adsorpsi ion logam Cd(II)**

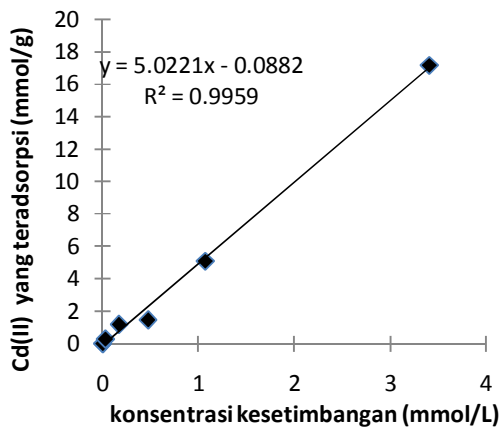
Gambar 5.8 memperlihatkan pertambahan konsentrasi awal logam pada awalnya akan memperbanyak jumlah logam yang terikat pada setiap adsorben. Pada konsentrasi awal Cd(II) sebesar 100 ppm pada adsorben pektin-Na telah jenuh oleh logam. Hal ini dapat dilihat dengan penambahan konsentrasi logam lebih lanjut tidak lagi merubah banyaknya logam yang terserap pada adsorben secara signifikan.

Adsorpsi isothermal dapat menunjukkan hubungan antara jumlah logam yang teradsorpsi per berat adsorben dengan konsentrasi kesetimbangan logam di dalam larutan. Dengan dilakukannya penentuan model adsorpsi isothermal, akan dapat diperkirakan mekanisme adsorpsi logam Cd(II) pada adsorben.

Model adsorpsi isothermal Langmuir mengasumsikan bahwa permukaan adsorben mempunyai sejumlah tertentu situs adsorpsi yang sebanding dengan luas permukaan adsorben dan adsorpsi hanya terjadi pada *monolayer* saja. Adsorpsi tidak dimungkinkan terjadi pada adsorben yang telah terisi oleh molekul adsorbat,

namun terjadi pada bagian yang kosong. Molekul adsorbat yang teradsorpsi hanya akan bervibrasi saja karena telah terikat dengan molekul adsorben. Apabila situs aktif adsorpsi belum jenuh dengan molekul adsorbat, maka kenaikan konsentrasi adsorbat selalu disertai dengan naiknya jumlah ion logam yang teradsorpsi. Sebaliknya, bila situs aktif adsorpsi sudah jenuh dengan molekul adsorbat maka kenaikan konsentrasi adsorbat relatif tidak meningkatkan jumlah logam yang teradsorpsi atau bahkan adsorpsinya cenderung turun (Oscik, 1982). Model adsorpsi isothermal Langmuir dinyatakan dengan Persamaan 2.5.

Pola adsorpsi isothermal Langmuir ditunjukkan dengan membuat kurva hubungan antara mol Cd(II) teradsorpsi tiap gram adsorben dengan konsentrasi ion logam pada kesetimbangan. Pola isothermal Langmuir disajikan pada Gambar 5.9 terlihat bahwa dengan meningkatnya konsentrasi adsorbat disertai dengan kenaikan konsentrasi Cd(II) yang teradsorpsi. Hal ini mengindikasikan bahwa secara termodinamika adsorpsi Cd(II) pada pektin-Na mengikuti model adsorpsi isothermal Langmuir.



**Gambar 5.9 Kurva hubungan antara konsentrasi kesetimbangan Cd(II) (mmol/L) dengan jumlah Cd(II) teradsorpsi (mmol/g) pada pektin-Na**

Hasil perhitungan parameter adsorpsi isothermal Langmuir diperoleh kapasitas adsorpsi pektin-Na adalah  $0,20 \text{ mmol g}^{-1}$  atau  $22,38 \text{ mg g}^{-1}$  yang berarti bahwa per gram pektin-Na mampu mengadsorpsi  $22,38 \text{ mg}$  Cd(II) dengan nilai

linearitas ( $r^2$ ) sebesar 0,995. Hal ini menunjukkan bahwa adsorpsi Cd(II) pada Pektin-Na hanya membentuk satu lapisan (monolayer).

Selanjutnya akan dibandingkan nilai kapasitas adsorpsi Cd(II) oleh Pektin-Na terhadap beberapa adsorben Cd(II) lainnya, hasil disajikan pada Tabel 5.3. Berdasarkan Tabel 5.3 terlihat bahwa kemampuan adsorpsi pektin-Na tidak jauh berbeda, bahkan lebih baik bila dibandingkan dengan *Calcite*, *Modified coir pith*, dan *Granular actived carbon*. Hal ini menunjukkan bahwa saponifikasi gugus metil (-CH<sub>3</sub>) pada permukaan pektin ampas jeruk *Citrus sinensis L.Osbeck* dapat pula dilakukan dengan menggunakan NaOH sebagai pengadsorpsi logam selain menggunakan Ca(OH)<sub>2</sub> sebagaimana yang dilakukan oleh Inoue (2005).

**Tabel 5.3 Perbandingan adsorpsi Cd(II) dengan berbagai macam adsorben**

Adsorben	kapasitas adsorpsi	
	mmol/g	mg/g
Pektin-Na	0,2	22,38
Modified Coir Pith <sup>1)</sup>	0,180	19,80
Waste Calcite Produced by the Carbonation of Flue Gas Desulfurization (FGD) Gypsum <sup>2)</sup>	0,071	7,99
Granular Activated Carbon <sup>3)</sup>	0,027	3,002
Kaolinite <sup>3)</sup>	0,016	1,837
Radish Peels <sup>4)</sup>	0,067	7,50
Calcite <sup>5)</sup>	0,165	18,52

(<sup>1)</sup>Khongkasem *et al.*, 2010, (<sup>2)</sup>Song *et al.*, 2011, (<sup>3)</sup>Al-Najar *et al.*, 2010, (<sup>4)</sup>Anwar *et al.*, 2009, (<sup>5)</sup>Yavuz *et al.*, 2007)

### 5.3 Selektivitas adsorpsi logam Cd(II) dengan adanya logam lain

Selektivitas adsorpsi pektin-Na terhadap Cd(II) dalam sistem multilogam dilakukan dengan memvariasikan perbandingan konsentrasi larutan multilogam dan Cd(II) dalam molaritas. Selektivitas adsorben pektin-Na terhadap Cd(II) diperlihatkan oleh nilai rasio distribusi koefisien selektivitas ( $\alpha$ ), yang dihitung berdasarkan persamaan:

$$D = Q/C_e \quad (5.5)$$

$$\alpha = D_{Cd}/D_M \quad (5.6)$$

dimana D adalah koefisien distribusi (L g<sup>-1</sup>), Q adalah kapasitas adsorpsi (mmol g<sup>-1</sup>)

<sup>1</sup>),  $C_e$  adalah konsentrasi akhir Cd(II) ( $\text{mmol L}^{-1}$ ),  $\alpha$  adalah koefisien selektivitas,  $D_{\text{Cd}}$  dan  $D_{\text{M}}$  adalah koefisien distribusi Cd(II) terhadap Pb(II) dan Zn(II). Dikatakan selektivitas baik apabila nilai  $\alpha$  Cd(II) lebih besar dari nilai  $\alpha$  logam Pb(II) dan Zn(II). Berdasarkan Persamaan 5.5 dan 5.6, diperoleh data selektivitas adsorpsi pektin-Na terhadap Cd(II) dalam berbagai sistem, sebagaimana disajikan dalam Tabel 5.4. Terlihat nilai koefisien selektivitas pektin-Na untuk ion logam Cd/Pb relatif lebih kecil daripada nilai koefisien selektivitas untuk Cd/Zn. Menurut Skoog, *et al.* (2004) koefisien selektivitas menunjukkan respon salah satu ion selektif terhadap ion-ion lain. Hal ini mengindikasikan bahwa pektin-Na lebih selektif terhadap logam Pb(II). Hal ini terjadi karena logam Pb(II) merupakan golongan madya, di mana pektin-Na merupakan basa keras, sehingga terjadi persaingan yang lebih besar dengan logam Cd(II) yang merupakan asam lunak dalam menempati situs aktif pektin-Na. Ini sesuai dengan prinsip HSAB, di mana asam keras lebih menyukai basa keras dan sebaliknya asam lunak cenderung berinteraksi dengan basa lunak. Dapat diambil kesimpulan bahwa pektin-Na belum selektif dalam mengadsorpsi logam Cd(II) dengan adanya logam yang berbeda sifatnya seperti logam Pb(II).

**Tabel 5.4 Selektivitas adsorpsi pektin-Na terhadap Cd(II) dengan adanya Pb(II) dan Zn(II).**

Sistem larutan	perbandingan Cd-logam lain	mol Cd(II)	mol logam pembanding	$D_{\text{Cd}}$ (L/g)	$D_{\text{M}}$ (L/g)	$\alpha$
Cd-Pb	1:1	0,015	0,015	0,199	2,675	0,074
	1:2	0,015	0,03	0,372	1,358	0,274
	1:3	0,0075	0,0225	0,265	11,297	0,023
	3:1	0,0225	0,0075	0,261	1,486	0,175
Cd-Zn	1:1	0,015	0,015	0,196	0,215	0,911
	1:2	0,015	0,03	0,288	0,291	0,989
	1:3	0,0075	0,0225	0,357	0,382	0,936
	3:1	0,0225	0,0075	0,133	0,135	0,985

Selektivitas adsorben pektin-Na dalam mengadsorpsi logam Cd(II) dengan adanya logam yang memiliki kesamaan sifat seperti Zn(II) pun cenderung kurang

selektif. Hal ini dikarenakan logam Zn(II) merupakan golongan madya, sehingga cenderung mengalami kompetisi dalam menempati situs aktif pektin-Na.

#### 5.4 Perbandingan optimasi pektin-Ca Inoue dengan pektin-Ca *Citrus sinensis* (L.) Osbeck

Berdasarkan data hasil penelitian selektivitas adsorpsi pektin-Na terhadap logam Cd(II) dengan adanya Pb(II) atau Zn(II) yang kurang optimal, maka peneliti mencoba melakukan selektivitas adsorpsi pektin-Ca terhadap Cd(II) dengan adanya Pb(II) atau Zn(II). Tabel 5.5 memperlihatkan kondisi pembuatan pektin-Ca, sedangkan hasil optimasi adsorpsi Cd(II) pada pektin-Ca ditunjukkan pada Tabel 5.6

**Tabel 5.5 Kondisi pembuatan pektin-Ca**

parameter	nilai	
	pektin-Ca metode Inoue	pektin-Ca
Berat ampas jeruk	100 g	100 g
Berat Ca(OH) <sub>2</sub>	500 cm <sup>3</sup>	3,5 g
pH	12	11,5
Rendemen adsorben		1,14 g

**Tabel 5.6 Hasil optimasi adsorpsi Cd(II) pada pektin-Ca**

Parameter	Nilai
pH	7
Waktu interaksi	120 menit
Model kinetika	Pseudo orde-2
Tetapan laju reaksi (k)	25,21 mmol <sup>-1</sup> g min <sup>-1</sup>
Nilai linearitas (R <sup>2</sup> )	0,999
Konsentrasi optimum	100 ppm
Kapasitas adsorpsi optimum	0,23 mmol/g
Nilai linearitas (R <sup>2</sup> )	0,996

Selektivitas adsorpsi pektin-Ca terhadap Cd(II) dalam sistem multilogam dilakukan dengan memvariasikan perbandingan konsentrasi larutan multilogam dan variasi konsentrasi Cd(II). Tabel 5.7 memperlihatkan nilai koefisien

selektivitas pektin-Ca untuk ion logam Cd/Pb yang ternyata tidak jauh berbeda dengan nilai koefisien selektivitas pektin-Na bahkan cenderung relatif lebih kecil.

Hal ini terjadi karena adanya persaingan dalam memperebutkan situs aktif pada adsorben oleh logam Cd(II) dan Pb(II) yang menunjukkan bahwa adsorpsi logam Cd(II) dengan Pb(II) terjadi pada situs aktif yang sama. Dapat diperkirakan bahwa sebagian besar situs aktif pada adsorben pektin-Ca adalah gugus karboksil ( $\text{COO}^-$ ) yang merupakan basa keras. Jumlah logam Pb(II) yang teradsorpsi cenderung lebih besar. Hal ini terjadi karena Pb(II) merupakan golongan madya, di mana pektin-Ca merupakan basa keras, sehingga Pb(II) cenderung lebih mudah menempati situs aktif dibandingkan dengan logam Cd(II) yang merupakan asam lunak. Demikian pula dengan nilai koefisien selektivitas pektin-Ca untuk ion logam Cd/Zn relatif lebih kecil, namun jauh lebih baik bila dibandingkan dari nilai koefisien selektivitas Cd(II)/Pb(II), tetapi pada dasarnya selektivitas pektin-Ca dalam mengadsorpsi Cd(II) belum optimal, namun ada kemungkinan selektivitas adsorpsi Cd(II) dapat terjadi bila dilihat dari data pada Tabel 5.7.

Pektin-Ca tidak selektif terhadap Cd(II) ini terjadi, dimungkinkan karena pektin-Ca yang memiliki sifat basa keras yang cenderung berikatan dengan asam madya yang merupakan sifat Zn(II), dibanding dengan asam lunak pada Cd(II).

**Tabel 5.7 Selektivitas adsorpsi pektin-Ca terhadap Cd(II) dengan adanya Pb(II) dan Zn(II).**

Sistem larutan	perbandingan Cd-logam lain	mol Cd(II)	mol logam pembanding	$D_{\text{Cd}}$ (L/g)	$D_{\text{M}}$ (L/g)	$\alpha$
Cd-Pb	1:01	0,015	0,015	0,296	1,491	0,198
	1:02	0,01	0,03	0,395	3,567	0,111
	1:03	0,0075	0,0225	0,462	11,297	0,041
	3:01	0,0225	0,0075	0,279	1,486	0,188
Cd-Zn	1:01	0,015	0,015	0,244	0,297	0,823
	1:02	0,01	0,03	0,362	0,378	0,959
	1:03	0,0075	0,0225	0,474	0,425	1,117
	3:01	0,0225	0,0075	0,190	0,145	1,313

Hal ini sesuai dengan prinsip HSAB, dimana asam keras lebih mudah berinteraksi dengan basa keras dan sebaliknya asam lunak cenderung berinteraksi

dengan basa lunak. Dapat diambil suatu kesimpulan bahwa gugus karboksilat baik pada pektin-Na maupun pektin-Ca belum mampu mengadsorpsi secara selektif logam Cd(II) dengan adanya Pb(II) dan Zn(II).

## **BAB VI**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

Dalam bab ini diuraikan kesimpulan dan saran untuk pengembangan penelitian selanjutnya.

#### **6.1 Kesimpulan**

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

1. Penambahan NaOH pada pektin dapat memodifikasi pektin menjadi pektin-Na, modifikasi ini dimungkinkan terjadi melalui ikatan antara gugus  $\text{-COO}^-$  dengan  $\text{Na}^+$  melalui reaksi saponifikasi.
2. Adsorpsi Cd(II) pada pektin-Na berlangsung pada kondisi optimum pH 7, waktu interaksi 3 jam, dan konsentrasi awal 100 ppm.
3. Kapasitas adsorpsi Cd(II) pada adsorben pektin-Na ternyata tidak berbeda jauh dengan pektin-Ca yaitu sebesar  $0,20 \text{ mmol g}^{-1}$  untuk pektin-Na dan sebesar  $0,23 \text{ mmol g}^{-1}$  untuk pektin-Ca.
4. Pada uji kompetitif antara Cd(II) dengan Pb(II) dan Cd(II) dengan Zn(II), disimpulkan bahwa adsorben pektin-Na tidak selektif dalam mengadsorpsi logam Cd(II), demikian pula halnya dengan pektin-Ca belum dapat secara selektif mengadsorpsi logam Cd(II).

#### **6.2 Saran**

Saran-saran yang diajukan untuk kelanjutan penelitian ini yaitu :  
Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai adsorben pektin-Na dan pektin-Ca dari jenis jeruk lainnya atau bahan organik lainnya yang mengandung senyawa pektin.



## DAFTAR PUSTAKA

- Adamson, A.W., 1990, *Physical Chemistry of Surface*, 5<sup>th</sup> Edition, John Willey and Sons Inc., New York.
- Albrigo, L.G., R.D., Carter, "Structure of Citrus Fruit in Reaction to Processing di dalam S. Nagy, P. E. Shaw, dan M. K. Veldhuis (eds). *Citrus Science and Technology Volume I*", The AVI Publishing Company Inc, West Point, Connecticut.
- Al-Najar, J.A., Ramzy, S.H., and Zaydoon, 2010, Removal of Cadmium(II) onto Granular Activated Carbon and Kaolinite Using Batch Adsorption, *J. Eng. Technol*, 28, 10-21.
- Anonim, 1984, *Guidelines for Drinking Water Qualit: Health Criteria and Other Supporting Information*, WHO, 84-89.
- Anonim, 2005, *Panduan Pasca Panen dan Pengolahan Jeruk*, Departemen Pertanian, Jakarta.
- Anwar, J., Shafique, U., Salaman, M., Zaman, W., and Memoona, M., 2009, Adsorption Study of Cadmium(II) and Lead(II) on Radish Peels, *J. Sci. Res*, 39, 1-6.
- Azouaou, N., Sadaoui, Z., and Mokaddem, H., 2008, Removal of Cadmium from Aqueous Solution by Adsorption on Vegetable Wastes, *J. Appl Sci*, 8 (24), 4638-4643.
- Biswas, B.K., Inoue, K., Ghimire, K.N., Ohta, S., Harada, H., Ohto, K., and Kawakita, H., 2007, The adsorption of phosphate from an aquatic environment using metal-loaded orange waste, *J. Sci*, 312, 214-223.
- Biswas, B.K., Inoue, J., Inoue, K., Ghimire, K.N., Harada, H., Ohta, K., and Kawakita, H., 2008, Adsorptive removal of As(V) and As(III) from water by a Zr(IV)-loaded orange waste gel, *J. Hazard. Mater*, 154, 1066-1074.
- Campbell, P.G.C., and Stokes, p.M., 1985, Acidification and toxicity of metals to aquatic biota, *J. Fish. Aquat. Sci*, 42, 2034-2049.
- Connel, D.W., dan Miller, G.J., 1995, *Kimia dan Ekotoksikologi Pencemaran*, diterjemahkan oleh : Yanti Koestoer, UI Press, Jakarta.
- Crist, R.H., Martin, J.R., Chanko, J., and Crist, D.R., 1996, *J. Sci. Technol*, 30, 2456.

- Darmono, 1995, *Logam Dalam Sistem Biologi Makhluk Hidup*, UI Press, Jakarta.
- Douglas, B., *et al*, 1994, *Concepts and Models Of Inorganic Chemistry*, third edition, university of Pittsburgh.
- Endress, H.U., 1988, *Nonfood Use of Pectin*, Hebstreith and Fox Kg Pectin-Fabrik, Neuenburg, Jerman.
- Faust, S.D., Aly, O.M., 1981, *Chemistry of Natural Water*, Ann Arbor Science, Michigan.
- Folsom, B.R., Popescu, N.A., Wood, J.M., 1986, Comparative Study of Aluminium and Copper Transport and Toxicity in an Acid-Tolerant Freshwater Green Algae, *J. Environ. Sci. Technol*, 20, 616-620.
- Freedman, B., 1995, *Environmental Ecology*, Second Edition, Academic Press, London.
- Freundlich, H., 1906, Uber Dye Adsorption in Losungen, *J. Chem. Phys*, 57, 387.
- Glicksman, 1969, *Gum Technology in the Food Industry*, Academic Press, NewYork.
- Guichard, E.S., Issanchou, A., Descovieres dan P. Etievant., 1991, Pectin Concentration Molecular Weight and Degree of Esterification Influence on Volatile Composition and Sensory Characteristic of Strawberry Jam, *J. Food. Sci*, 56, 1621.
- Hancock, I.C., 1996, Bioremediation of Heavy Metal Pollution-Possibilities and Practicalities: The Cirent Position, *Symposium and WorkShop on Heavy Metal Bioaccumulation*, IUC, Biotechnology, Gadjah Mada University, Yogyakarta.
- Hart, H., Craine, L.E, and Hart, D.J., 2003, *Kimia Organik*, Edisi Kesebelas, diterjemahkan oleh : Achmadi, S.S., Penerbit Erlangga, Jakarta.
- Herbstreith, K., G., Fox, 2005, Pectin, [http://www.herbstreith-fox.de/pektin/forschungundentwicklung/forschung\\_entwicklung04a.htm](http://www.herbstreith-fox.de/pektin/forschungundentwicklung/forschung_entwicklung04a.htm), 13-2-2011.
- Huheey, J.E., Keiter, E.A., dan Keiter, R.L, 1993, *Inorganic Chemistry: Principles of Structure and Reactivity*, Fourth edition, Harper Collins College Publisher, New York.
- Husted, R., 1999, *Periodic Table of Elements*, Los Alamos National Laboratory, University of California, California.

- Hwang, Jae-Kwan; Kim, Chul-Jin and Kim, Chong-Tai, 1998, Extrusion of Apple Pomace Facilitates Pectin Extraction, *J. Food Sci*, 63:841-844.
- Inoue, K., Dhakal, R.P., and Ghimire, K.N., 2005, Adsorptive Separation of Heavy Metals from an Aquatic Environment Using Orange Waste, *Hydrometallurgy*, 79, 182-190.
- Inoue, K., 2008, Adsorptive Removal of Hazardous Inorganic Elements from Water by Using Orange Waste, *Indo. J. Chem*, 8 (3), 293-299.
- Kertesz, Z.I., 1951, *The Pectin Substances*, Interscience Pub, Inc., New York.
- Khongkasem, E., Khlongkarnpanich, N., Weangkaew, W., and Wantala, K., 2020, Effect on Adsorption of Cd(II) Ions by Modified Coir Pith as Agricultural Waste, *J. Min. Met. Mat*, 20 (3), 73-76.
- Kupchik, L.A., Kartel, N.T., Bogdanov, E.S., Bogdanova, O.V. and Kupchik, M.P, 2005, Chemical modification of pectin to improve its sorption properties, *Russ. J. Appl. Chem*, 79(3), 457-460.
- Kurniasih, Nia., 2004, Jeruk Kurangi Resiko Kanker, <http://pikiran-rakyat.com/cetak/0904/02/cakrawala/lainnya03.htm>. 12-2 2011
- Langmuir, I., 1916, The Constitution and Fundamental Properties of Solids and Liquids, *J. Am. Chem. Soc*, 38 (12), 2221.
- Li, X., Tang, Y., Cao, X., Lu, D., Luo, F., Shao, W., 2008, Preparation and Evaluation of Orange Peel Cellulose Adsorbents for Effective Removal of Cadmium, Zinc, Cobalt and Nickel, *J.Physico.Chem. Eng*. 317, 512-521.
- Liu C. dan Huang, P.M., 1999, *Atomic force Microscopy of pH, Ionic Strength and Cadmium Effects on Surface Features of Humic Acid In Understanding Humic Substances Advanced Methods*, Properties and Applications, The Royal Society of Chemistry, Cambridge, UK.
- Lyman, M.M., Kliduff, J.E., Weber, W.J., 1995, Adsorption of p-Nitrophenol from Dilute Aqueous Solution, *J. Chem. Educ.*, 72, 80-84.
- Marín, A.B.P., Meseguer Zapata, V., Ortuño, J.F., Aguilar, M., Sáez, J., and Lloréns, M., 2007, Removal of Cadmium from Aqueous Solution by Adsorption onto Orange Waste, *J. Hazard. Mater*, B139, 122-131.
- Marín, A.B.P., Ballester, A.,González, F., Blázquez, M.L., Muñoz, J.A., Sáez, J., and Zapata, V.M., 2008, Study of Cadmium, Zinc and Lead Biosorption

by Orange Wastes Using the Subsequent Addition Method, *J. Bioresource Technol*, 30.

Ościk, J., 1982, *Adsorption*, John Wiley & Sons, New York.

Pearson, R.G., 1997, *Chemical Hardness*, WILEY-VCH Verlag, Weinheim.

Rahmawati, A., 2004, Studi Adsorpsi Kadmium (II) dan Timbal (II) pada Asam Humat, *Tesis*, Jurusan Kimia, FMIPA, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.

Ranganna, S., 2000, *Hand Book of Analysis and Quality Control for Fruit and Vegetable Products*, second edition, Tata McGraw-Hill Publishing Company Limited, New Delhi.

Rouse, A.H., 1977, *Citrus Science and Technology*, Vol. 1, The AVI Publishing Company Inc, Westport, Connecticut.

Rukmana, H.R., 2003, *Jeruk Manis*, Kanisius, Yogyakarta.

Santosa, S.J., 2001, Adsorption Kinetics of Cd(II) and Cr(II) by Humic Acid, dalam *Prosiding Seminar Nasional Kimia IX*, Jurusan Kimia Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, 21 Mei 2001.

Skoog, D. A, West, D. M, Holler, F. J, dan Crouch, S. R., 2004, *Fundamental of Analytical Chemistry*, Eight Edition, Thomson Learning Academic Resource Center., USA.

Song, K., Kim, W., Ryu, T., Ryu, K.W., Bang, J.H., and Jang, Y.N., 2010, Adsorption of Cd(II) on Waste Calcite Produced by the Carbonation of Flue Gas Desulfurization (FGD) Gypsum, *J. Mater-T*, The Japan Institute of Metal, No.2, Vol.52, 224-228.

Stumm, W dan Morgan, J.J., 1996, *Aquatic Chemistry*, Third Edition, John Wiley & Sons, Inc, New York.

Taylor, J, DeWoskin, R, and Ennever, F.K., 1999, *Toxicological Profile for Cadmium Agency for Toxic Substances and Disease Registry*, Federal Register Publ, Georgia.

Wilkin, R.T, 2007, *Monitored Natural Attenuation Contaminants in Ground Water*, Vol. 2, National Risk Management Research Laboratory, Ada, Oklahoma.

Winarno, F.G., 1997, *Kimia Pangan dan Gizi*, PT Gramedia Pustaka Utama, Jakarta.

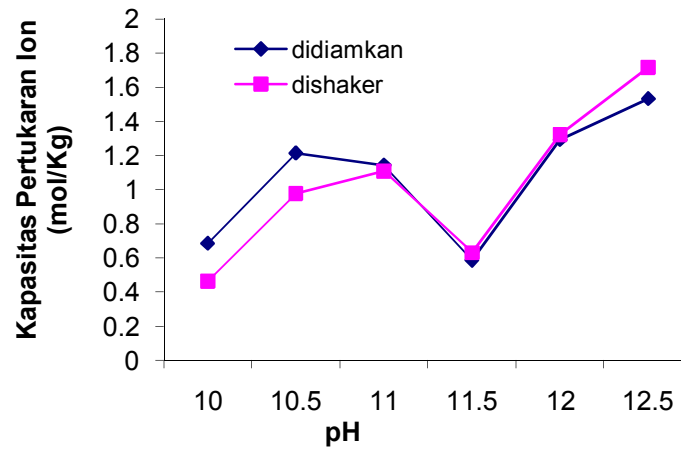
- Wong, W.W., Phuah, E.T., Al-Kharkhi, A., Liong, M.T., Nadiah, W.A., Rosma, A., and Easa, A.M., 2008, *Biosorbent Ingredients from Durian Rind Waste*, School of Industrial Technology, University Sains Malaysia, Penang.
- Yavuz, Ö., Guzel, R., Aydin, F., Tegin, I., Ziyadanogullari, R., 2007, Removal of Cadmium and Lead from Aqueous Solution by Calcite, *Polish J. Environ. Educ*, No. 3, Vol. 16, 467-471.

## Lampiran 1 Adsorben pektin-Na



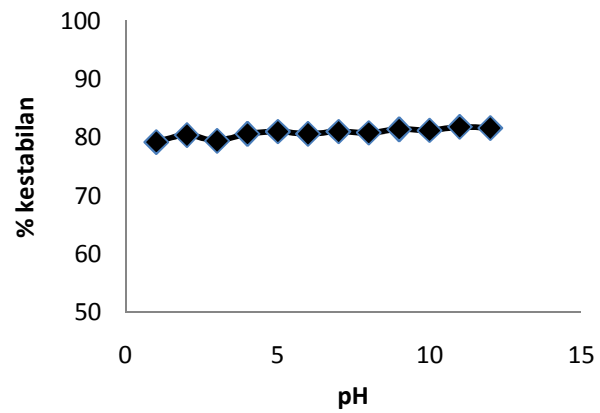
**Lampiran 2 Total pertukaran proton adsorben Pektin-Na**

pH	didiamkan	dishaker
10	0,688	0,464
10,5	1,216	0,977
11	1,145	1,11
11,5	0,589	0,631
12	1,294	1,322
12,5	1,533	1,716



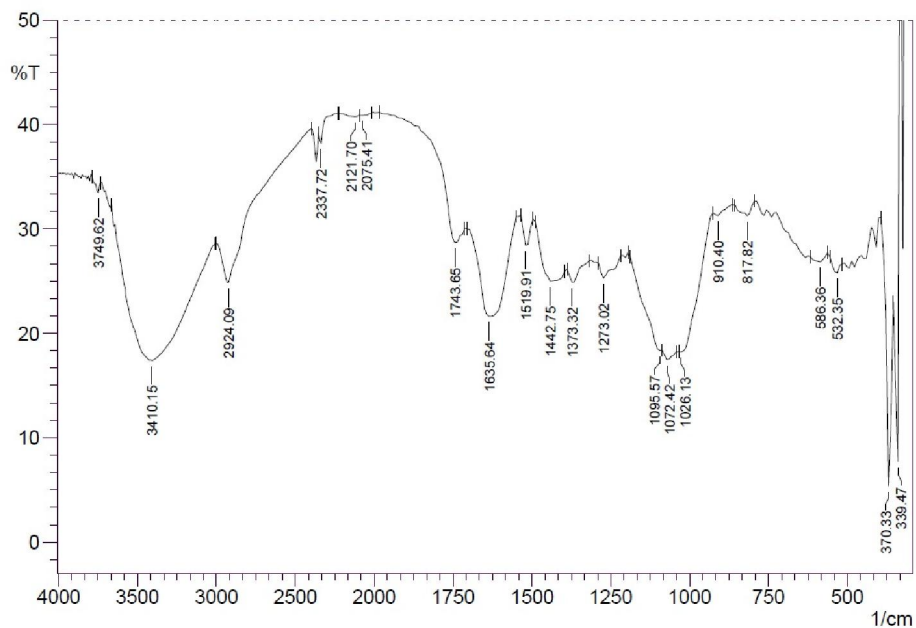
**Lampiran 3 Stabilitas adsorben pektin-Na**

<b>pH</b>	<b>berat awal (g)</b>	<b>berat akhir (g)</b>	<b>% Kestabilan</b>
1	0,05	0,0396	79,2
2	0,05	0,0402	80,4
3	0,05	0,0397	79,4
4	0,05	0,0403	80,6
5	0,05	0,0405	81
6	0,05	0,0403	80,6
7	0,05	0,0405	81
8	0,05	0,0404	80,8
9	0,05	0,0407	81,4
10	0,05	0,0406	81,2
11	0,05	0,0409	81,8
12	0,05	0,0408	81,6



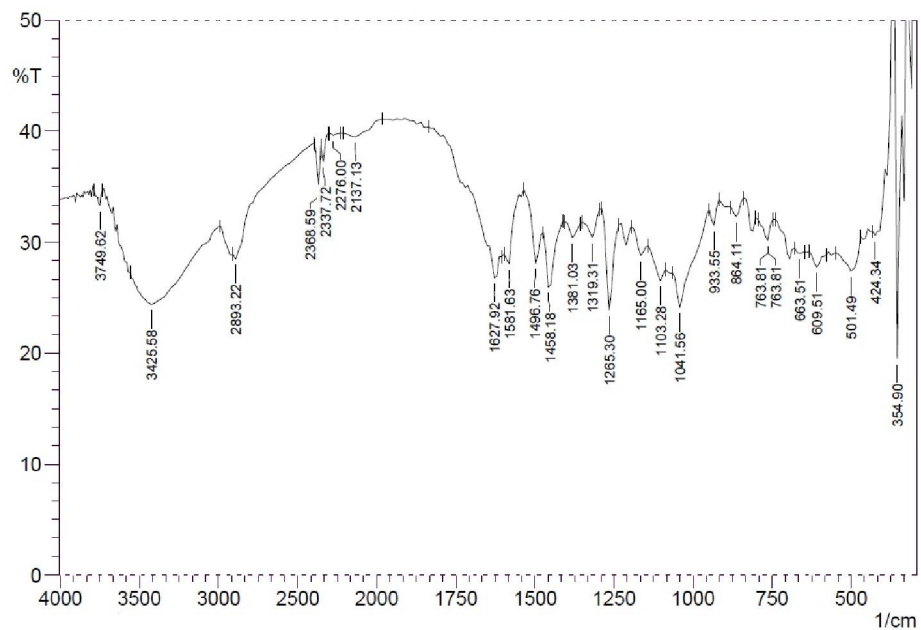


## Lampiran 4 Spektra FT-IR pektin

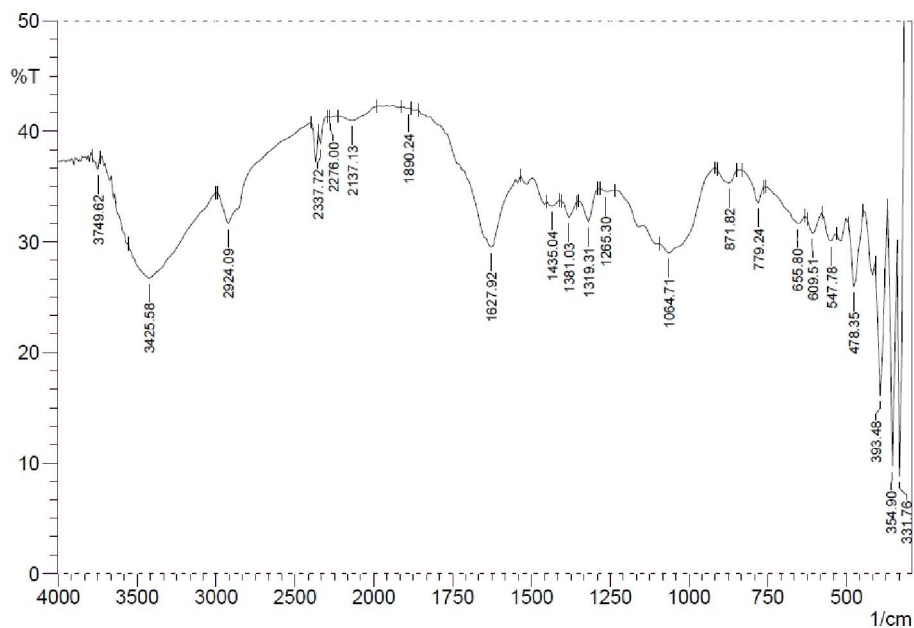
	Peak	Intensity	Corr. Intensity	Base (H)	Base (L)	Area	Corr. Area
1	339.47	7.71	59.73	354.9	331.76	15.18	9.52
2	370.33	5.39	20.83	393.48	354.9	31.4	8.79
3	532.35	25.79	1.14	555.5	516.92	22.39	0.41
4	586.36	26.83	0.73	617.22	563.21	30.61	0.38
5	817.82	31.26	1.26	856.39	794.67	30.75	0.62
6	910.4	31.28	0.43	925.83	864.11	30.71	0.14
7	1026.13	18.22	0.97	1033.85	925.83	67.32	1.56
8	1072.42	17.49	2.65	1188.15	1041.56	101.38	5.19
9	1095.57	18.35	0.71	1195.87	1087.85	70.38	0.57
10	1273.02	25.31	1.57	1288.45	1219.01	40.43	1.08
11	1373.32	24.9	1.43	1388.75	1319.31	40.67	0.73
12	1442.75	25	3.29	1489.05	1396.46	54.24	3.05
13	1519.91	28.44	2.75	1535.34	1496.76	20.41	0.85
14	1635.64	21.62	8.92	1705.07	1550.77	92.29	12.99
15	1743.65	28.69	2.64	1982.82	1712.79	117.08	1.15
16	2075.41	40.87	0.06	2090.84	2013.68	29.91	0.05
17	2121.7	40.75	0.17	2222	2090.84	50.96	0.13
18	2337.72	38.2	1.25	2353.16	2229.71	48.63	0.22
19	2924.09	24.87	5.2	3001.24	2399.45	290.12	8.06
20	3410.15	17.42	13.45	3664.75	3008.95	431.86	92.52
21	3749.62	33.47	1.1	3788.19	3734.19	25.21	0.35

## Lampiran 5 Spektra FT-IR pektin-Na pH 10



	Peak	Intensity	Corr. Intensity	Base (H)	Base (L)	Area	Corr. Area
1	354.9	19.49	34.9	362.62	324.04	17.16	8.57
2	424.34	30.57	3.78	432.05	370.33	27.08	5.13
3	501.49	27.4	2.5	547.78	470.63	42.19	1.65
4	609.51	27.77	1.27	632.65	578.64	29.5	0.46
5	663.51	28.99	0.31	678.94	648.06	16.57	0.09
6	763.81	30.14	1.91	794.67	748.38	23.43	0.56
7	763.81	30.14	1.99	802.39	740.67	31.04	0.63
8	864.11	32.29	1.18	879.54	840.96	18.56	0.31
9	933.55	31.5	1.88	948.98	918.12	15.08	0.38
10	1041.56	24.12	4.27	1064.71	948.98	63.87	3.27
11	1103.28	26.51	1.64	1141.86	1087.85	30.14	0.64
12	1165	28.79	1.62	1195.87	1141.86	28.33	0.5
13	1265.3	23.86	8.54	1288.45	1234.44	29.47	2.88
14	1319.31	30.44	2.03	1350.17	1296.16	27.08	0.69
15	1381.03	30.39	1.34	1404.18	1357.89	23.5	0.41
16	1458.18	25.94	5.18	1473.62	1411.89	33.17	2.14
17	1496.76	28.08	4.24	1535.34	1473.62	31.16	1.24
18	1581.63	28.05	2.36	1597.06	1535.34	30.58	0.43
19	1627.92	26.8	3.06	1836.23	1604.77	107.75	1.18
20	2137.13	39.51	0.76	2214.28	1982.82	92.02	1.17
21	2276	39.85	0.17	2299.15	2229.71	27.82	0.05
22	2337.72	37.26	1.81	2353.16	2306.86	19.12	0.37
23	2368.59	35.19	3.54	2391.73	2353.16	16.69	0.8
24	2893.22	28.48	0.74	2908.65	2399.45	231.18	0.26
25	3425.58	24.37	3.9	3556.74	2993.52	319.59	19.53
26	3749.62	33.29	1.41	3788.19	3734.19	25.29	0.46

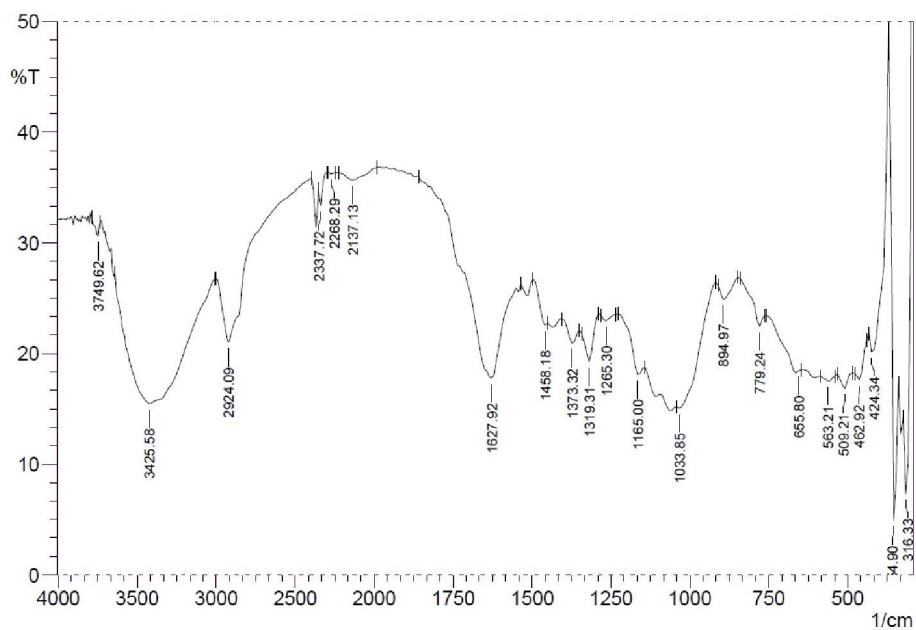
## Lampiran 6 Spektra FT-IR pektin-Na pH 10,5



	Peak	Intensity	Corr. Intensity	Base (H)	Base (L)	Area	Corr. Area
1	331.76	8.83	107.83	339.47	293.18	10.08	19.92
2	354.9	9.71	21.73	370.33	339.47	22.07	6.34
3	393.48	16.11	11.47	408.91	378.05	20.85	3.51
4	478.35	25.94	6.08	493.78	447.49	24.9	2.19
5	547.78	30.08	1.31	578.64	532.35	23.61	0.51
6	609.51	30.78	1.48	624.94	578.64	23.19	0.52
7	655.8	31.67	1.19	756.1	632.65	59.32	0.81
8	779.24	33.53	1.75	833.25	763.81	31.63	0.51
9	871.82	35.32	1.21	910.4	848.68	27.56	0.57
10	1064.71	28.97	2.05	1095.57	918.12	88.36	3.55
11	1265.3	34.56	0.22	1280.73	1234.44	21.33	0.06
12	1319.31	31.78	2.52	1350.17	1288.45	29.49	0.86
13	1381.03	32.2	1.41	1404.18	1357.89	22.34	0.41
14	1435.04	33.25	0.43	1450.47	1411.89	18.35	0.14
15	1627.92	29.54	8.16	1859.38	1535.34	144.59	11.33
16	1890.24	42.08	0.05	1913.39	1882.52	11.59	0.01
17	2137.13	40.98	0.72	2222	1990.54	88.64	1.03
18	2276	41.27	0.07	2283.72	2229.71	20.72	0.01
19	2337.72	38.83	1.5	2353.16	2291.43	24.28	0.28
20	2924.09	31.67	3.5	2993.52	2399.45	256.92	4.97
21	3425.58	26.71	4.21	3556.74	3001.24	292.84	18.66
22	3749.62	36.53	1.18	3788.19	3734.19	23.22	0.35

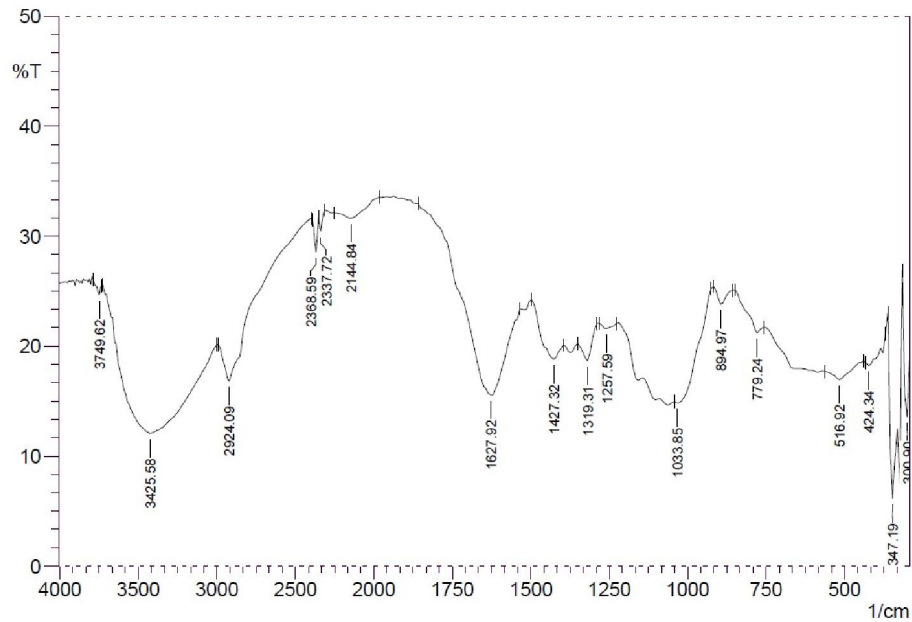
## Lampiran 7 Spektra FT-IR pektin-Na pH 11

SHIMADZU



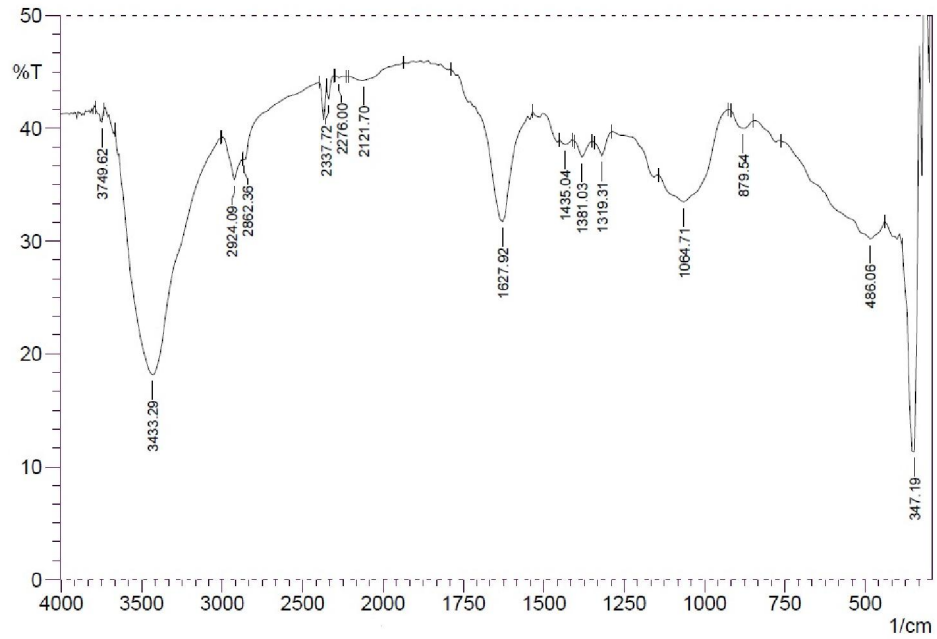
	Peak	Intensity	Corr. Intensity	Base (H)	Base (L)	Area	Corr. Area
1	316.33	7.33	93.28	324.04	293.18	15.95	16.9
2	354.9	4.92	22.31	362.62	339.47	24.35	8.8
3	424.34	20.16	5.09	432.05	370.33	35.1	6.61
4	462.92	17.62	1.79	478.35	439.77	27.8	0.8
5	509.21	16.82	1.39	532.35	486.06	34.94	0.7
6	563.21	17.53	0.41	586.36	540.07	34.8	0.25
7	655.8	18.45	0.42	756.1	648.08	74.53	0.68
8	779.24	22.44	1.68	840.96	763.81	47.25	0.66
9	894.97	24.91	1.44	910.4	848.68	36.38	0.87
10	1033.85	15.05	0.83	1041.56	918.12	86.97	2.14
11	1165	18.12	1.95	1226.73	1141.86	58.2	0.72
12	1265.3	22.94	0.53	1280.73	1234.44	29.33	0.21
13	1319.31	19.27	3.31	1342.46	1288.45	36.27	1.62
14	1373.32	20.92	1.61	1404.18	1350.17	35.73	0.78
15	1458.18	22.54	0.9	1496.76	1450.47	28.44	0.31
16	1627.92	17.77	11.3	1859.38	1535.34	188.31	22.08
17	2137.13	35.68	0.81	2222	1990.54	102.37	1.25
18	2268.29	36.24	0.11	2291.43	2245.14	20.37	0.03
19	2337.72	33.36	1.93	2353.16	2299.15	24.55	0.43
20	2924.09	21.03	6.92	3001.24	2399.45	315.51	13.21
21	3425.58	15.46	11.64	3641.6	3008.95	448.75	89.04
22	3749.62	30.61	1.38	3788.19	3734.19	27.18	0.49

## Lampiran 8 Spektra FT-IR pektin-Na pH 11,5



	Peak	Intensity	Corr. Intensity	Base (H)	Base (L)	Area	Corr. Area
1	300.9	13.578	7.856	316.33	293.18	18.524	2.888
2	347.19	6.146	18.167	362.62	316.33	44.803	17.103
3	424.34	18.224	0.605	432.05	370.33	44.256	1.031
4	516.92	16.949	1.102	563.21	439.77	92.845	1.491
5	779.24	21.187	1.36	848.68	756.1	59.802	1.05
6	894.97	23.802	1.495	918.12	856.39	37.633	0.722
7	1033.85	14.836	0.783	1041.56	925.83	84.538	3.018
8	1257.59	21.61	0.451	1280.73	1226.73	35.747	0.295
9	1319.31	18.648	2.485	1350.17	1288.45	43.074	1.529
10	1427.32	18.79	2.574	1496.76	1396.46	69.574	3.428
11	1627.92	15.552	10.579	1859.38	1535.34	207.117	26.377
12	2144.84	31.645	1.039	2252.86	1982.82	132.67	2.079
13	2337.72	30.442	1.533	2353.16	2314.58	19.425	0.366
14	2368.59	28.543	3.084	2391.73	2353.16	20.133	0.847
15	2924.09	16.799	4.679	2993.52	2399.45	360.239	10.376
16	3425.58	12.072	11.254	3726.47	3001.24	585.859	118.349
17	3749.62	24.668	0.996	3788.19	3734.19	32.255	0.424

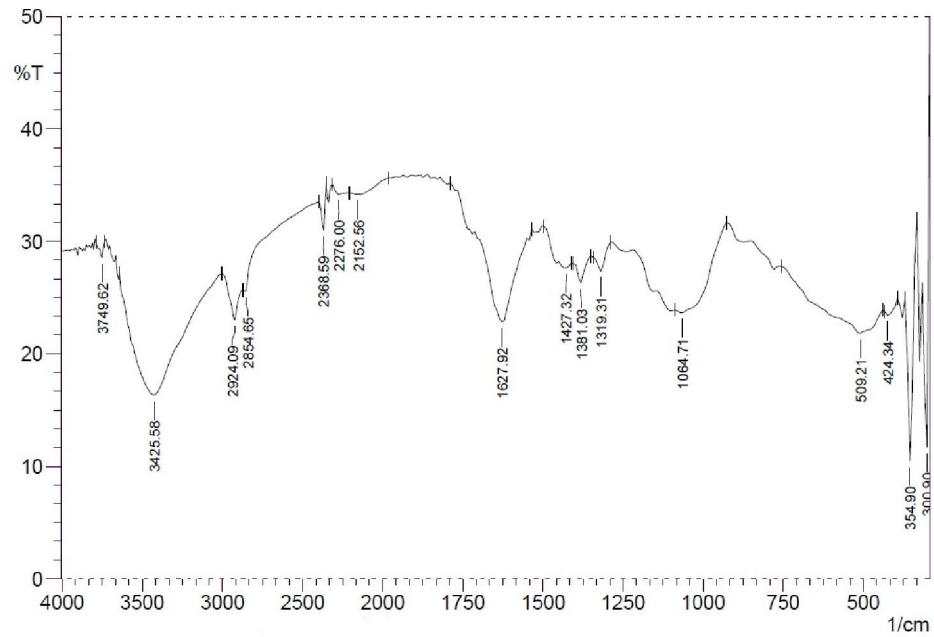
## Lampiran 9 Spektra FT-IR pektin-Na pH 12



Peak	Intensity	Corr. Intensity	Base (H)	Base (L)	Area	Corr. Area	
1	347.19	11.321	36.324	385.76	316.33	42.681	18.395
2	486.06	30.207	2.556	763.81	439.77	153.357	5.88
3	879.54	40.016	1.076	918.12	848.68	27.334	0.512
4	1064.71	33.467	4.462	1141.86	925.83	95.827	6.925
5	1319.31	37.547	1.604	1342.46	1288.45	22.315	0.401
6	1381.03	37.412	1.424	1404.18	1350.17	22.556	0.375
7	1435.04	38.568	0.401	1450.47	1411.89	15.897	0.111
8	1627.92	31.709	11.149	1789.94	1535.34	103.61	10.991
9	2121.7	44.232	0.768	2214.28	1936.53	96.992	1.253
10	2276	44.5	0.14	2299.15	2229.71	24.372	0.04
11	2337.72	42.558	1.535	2353.16	2306.86	16.632	0.272
12	2862.36	37.217	0.179	2870.08	2399.45	177.158	0.039
13	2924.09	35.414	2.566	3001.24	2677.79	53.098	1.457
14	3433.29	18.153	21.473	3664.75	3008.95	359.631	95.234
15	3749.62	40.505	1.211	3788.19	3734.19	20.82	0.324

## Lampiran 10 Spektra FT-IR pektin-Na pH 12,5

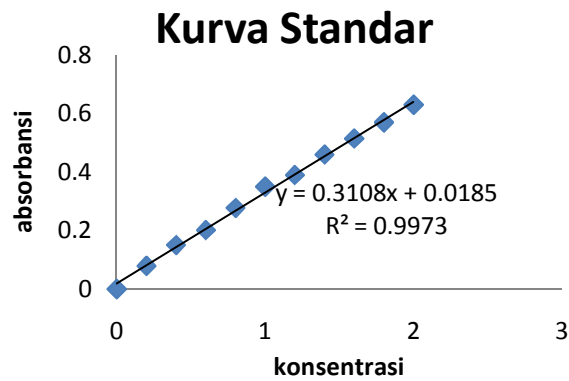
SHIMADZU



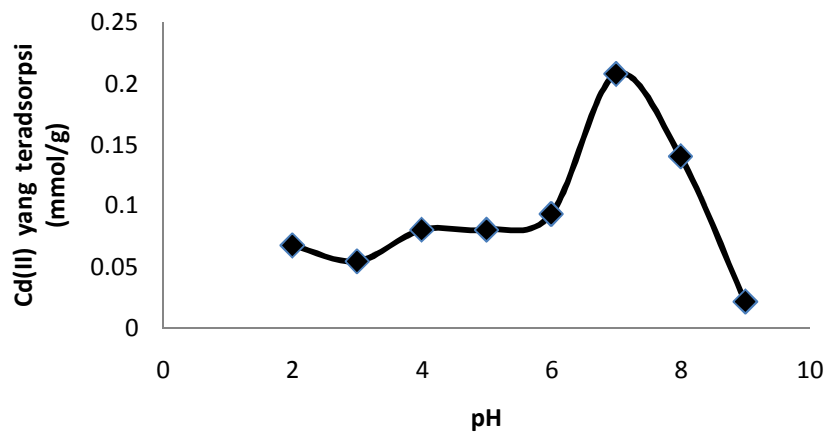
	Peak	Intensity	Corr. Intensity	Base (H)	Base (L)	Area	Corr. Area
1	300.9	11.694	35.531	331.76	293.18	25.432	11.031
2	354.9	10.471	16.323	370.33	339.47	23.402	5.954
3	424.34	23.412	0.584	432.05	393.48	23.917	0.341
4	509.21	21.804	2.959	756.1	439.77	196.699	10.181
5	1064.71	23.654	1.364	1087.85	925.83	93.915	3.593
6	1319.31	27.351	1.784	1342.46	1288.45	29.402	0.625
7	1381.03	26.269	2.032	1404.18	1350.17	30.206	0.678
8	1427.32	27.623	1.045	1496.76	1411.89	46.203	1.234
9	1627.92	22.83	9.765	1789.94	1535.34	138.581	16.091
10	2152.56	34.183	0.44	2206.57	1982.82	102.98	0.945
11	2276	34.16	0.605	2314.58	2214.28	46.568	0.397
12	2368.59	30.951	3.67	2399.45	2353.16	22.432	1.022
13	2854.65	25.548	0.392	2870.08	2399.45	238.782	0.075
14	2924.09	22.981	3.226	3001.24	2877.79	74.311	2.781
15	3425.58	16.305	10.831	3641.6	3008.95	425.962	67.487
16	3749.62	28.551	1.398	3788.19	3734.19	28.821	0.535

### Lampiran 11 Optimasi pH terhadap proses adsorpsi logam Cd(II)

Konsentrasi standar	absorbansi
0	0
0,2	0,079
0,4	0,15
0,6	0,202
0,8	0,277
1	0,35
1,2	0,39
1,4	0,46
1,6	0,515
1,8	0,57
2	0,63



A	pH	C	faktor kali pengenceran	Co real
0,208	2	0,609535	100	60,9535
0,167	3	0,477625	100	47,7625
0,19	4	0,551623	100	55,16233
0,178	5	0,513016	100	51,30155
0,186	6	0,538754	100	53,8754
0,384	7	1,175782	100	117,5782
0,388	8	1,188652	100	118,8652
0,057	9	0,12372	100	12,37204

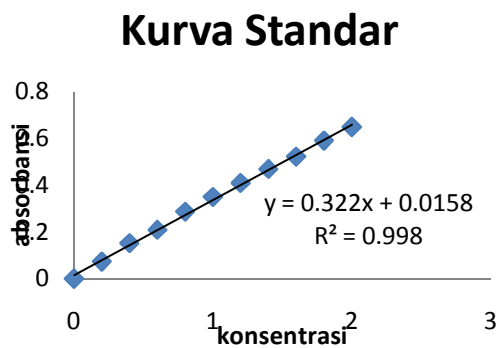




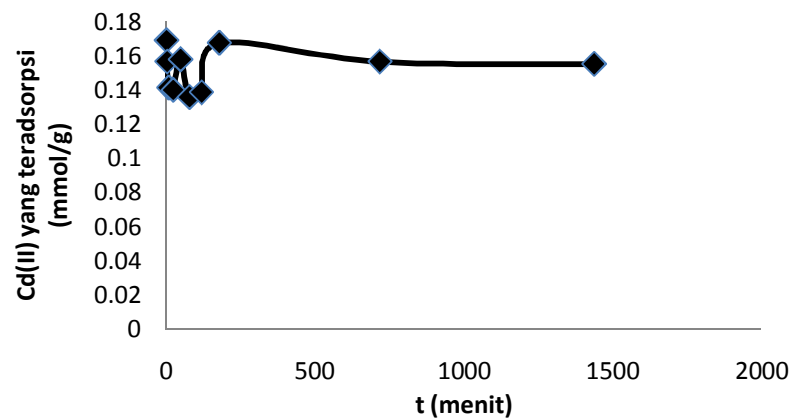
A Na	pH	C	faktor kali pengenceran	C akhir	Co real	adsorpsi		[Cd(II) yang teradsorpsi		% adsorpsi
						Co real-C akhir	(Co real-C akhir).V	qe (mg/g)	qe (mmol/g)	
0,161	2	0,458321	100	45,83211	60,9535	15,12138052	0,226820708	7,56069026	0,067265928	24,8080614
0,129	3	0,355367	100	35,53671	47,7625	12,22579702	0,183386955	6,112898508	0,054385218	25,5970606
0,134	4	0,371454	100	37,14536	55,16233	18,01696402	0,27025446	9,008482012	0,080146637	32,6617179
0,122	5	0,332846	100	33,28459	51,30155	18,01696402	0,27025446	9,008482012	0,080146637	35,1197263
0,121	6	0,329629	100	32,96285	53,8754	20,91254753	0,313688213	10,45627376	0,093027347	38,8165038
0,239	7	0,709272	100	70,92717	117,5782	46,65106756	0,699766013	23,32553378	0,207522543	39,6766169
0,29	8	0,873355	100	87,33548	118,8652	31,52968704	0,472945306	15,76484352	0,140256615	26,5255906
0,042	9	0,075461	100	7,546066	12,37204	4,825972507	0,072389588	2,412986253	0,021467849	39,0070922

## Lampiran 12 Optimasi waktu interaksi terhadap proses adsorpsi logam Cd(II)

Konsentrasi standar	absorbansi
0	0
0,2	0,073
0,4	0,152
0,6	0,209
0,8	0,287
1	0,35
1,2	0,41
1,4	0,47
1,6	0,523
1,8	0,592
2	0,65



A	C	faktor kali pengenceran	Co real	Co real
0,399	1,1900056	100	119,0005647	
0,408	1,217956	100	121,7955957	119,7252
0,397	1,1837945	100	118,3794466	



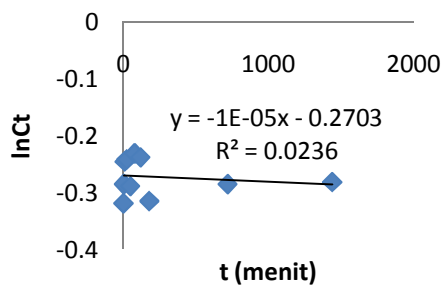
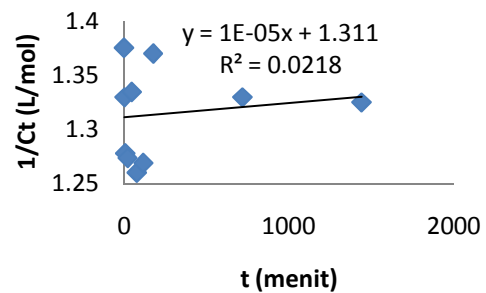
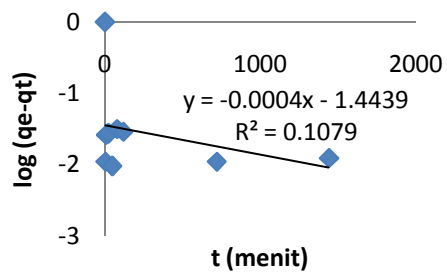
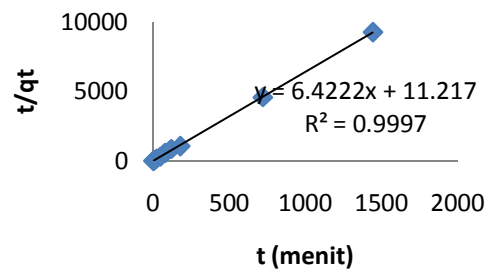
<b>A Na</b>	<b>t (menit)</b>	<b>C</b>	<b>faktor kali pengenceran</b>	<b>C akhir</b>	<b>Co real</b>	<b>Co real-C akhir</b>	<b>(Co real-C akhir).V</b>	<b>qe (mg/g)</b>	<b>qe (mmol/g)</b>	<b>% adsorpsi</b>
0,279	3	0,817334839	100	81,73348	119,7252	37,99171843	0,569875776	18,99585921	0,169002306	31,732432
0,288	5	0,84528515	100	84,52851	119,7252	35,19668737	0,527950311	17,59834369	0,156568894	29,397893
0,299	10	0,87944664	100	87,94466	119,7252	31,7805383	0,476708075	15,89026915	0,141372501	26,544568
0,3	25	0,88255223	100	88,25522	119,7252	31,4699793	0,472049689	15,73498965	0,139991011	26,285175
0,287	50	0,84217956	100	84,21796	119,7252	35,50724638	0,532608696	17,75362319	0,157950384	29,657287
0,303	80	0,891869001	100	89,1869	119,7252	30,53830228	0,458074534	15,26915114	0,13584654	25,506996
0,301	120	0,88565782	100	88,56578	119,7252	31,15942029	0,467391304	15,57971014	0,138609521	26,025782
0,28	180	0,820440429	100	82,04404	119,7252	37,68115942	0,565217391	18,84057971	0,167620816	31,473039
0,288	720	0,84528515	100	84,52851	119,7252	35,19668737	0,527950311	17,59834369	0,156568894	29,397893
0,289	1440	0,84839074	100	84,83907	119,7252	34,88612836	0,523291925	17,44306418	0,155187404	29,1385

Lampiran 13 Kinetika Moore, Pearson, Lagergren dan Ho

A Na	t (menit)	C	faktor kali pengenceran	C akhir (mmol/L)	Co real (mg/L)	Co(mmol/L)	Ct	lnCt	1/Ct
0,279	3	0,817334839	100	0,727166227	119,7252023	1,065170839	0,727166	-0,3186002	1,375201382
0,288	5	0,84528515	100	0,752033051	119,7252023	1,065170839	0,752033	-0,284975	1,329728791
0,299	10	0,87944664	100	0,782425837	119,7252023	1,065170839	0,782426	-0,2453561	1,278076404
0,3	25	0,88255223	100	0,785188817	119,7252023	1,065170839	0,785189	-0,2418311	1,273579015
0,287	50	0,84217956	100	0,749270071	119,7252023	1,065170839	0,74927	-0,2886558	1,334632249
0,303	80	0,891869001	100	0,793477759	119,7252023	1,065170839	0,793478	-0,2313298	1,26027477
0,301	120	0,88565782	100	0,787951798	119,7252023	1,065170839	0,787952	-0,2383184	1,269113165
0,28	180	0,820440429	100	0,729929207	119,7252023	1,065170839	0,729929	-0,3148077	1,369995871
0,288	720	0,84528515	100	0,752033051	119,7252023	1,065170839	0,752033	-0,284975	1,329728791
0,289	1440	0,84839074	100	0,754796032	119,7252023	1,065170839	0,754796	-0,2813077	1,324861231

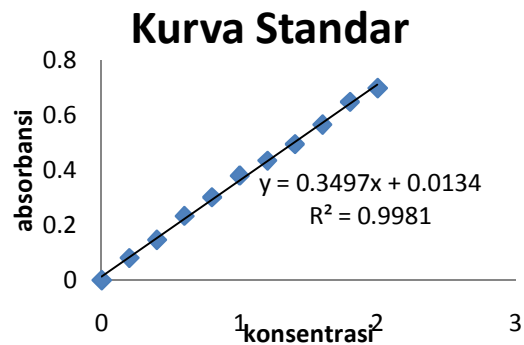
t (menit)	qe(mol/g)	qt (mol/g)	qe-qt (mol/g)	log (qe-qt)
3	0,1676208	0,169002306	-0,00138149	#NUM!
5		0,156568894	0,011051922	-1,956562192
10		0,141372501	0,026248315	-1,580898578
25		0,139991011	0,027629805	-1,558622183
50		0,157950384	0,009670432	-2,014554139
80		0,13584654	0,031774276	-1,497924343
120		0,138609521	0,029011295	-1,537432884
720		0,156568894	0,011051922	-1,956562192
1440		0,155187404	0,012433412	-1,905409669

t (menit)	qt (mol/g)	t/qt
3	0,169002306	17,7512371
5	0,156568894	31,9348235
10	0,141372501	70,735114
25	0,139991011	178,582895
50	0,157950384	316,555102
80	0,13584654	588,899797
120	0,138609521	865,741395
180	0,167620816	1073,85231
720	0,156568894	4598,61459
1440	0,155187404	9279,10362

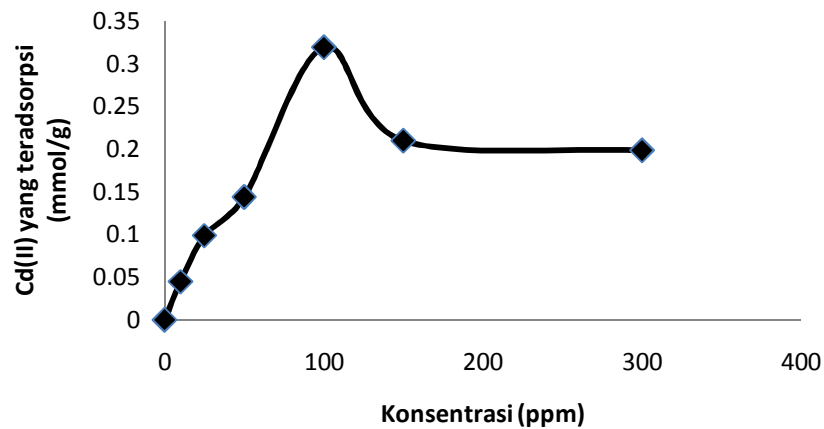
**orde-1****orde-2****pseudo orde-1****pseudo orde-2**

### Lampiran 14 Optimasi konsentrasi logam Cd(II) terhadap adsorben pektin-Na

Konsentrasi standar	absorbansi
0	0
0,2	0,081
0,4	0,147
0,6	0,234
0,8	0,302
1	0,381
1,2	0,436
1,4	0,496
1,6	0,567
1,8	0,65
2	0,7



A	C (ppm)	C	faktor kali pengenceran	Co real
0	0	0	0	0
0,367	10	1,011178	10	10,11178
0,368	25	1,014037	25	25,35092
0,375	50	1,034053	50	51,70263
0,451	100	1,251365	100	125,1365
0,404	150	1,116974	150	167,5461
0,512	300	1,425786	300	427,7359

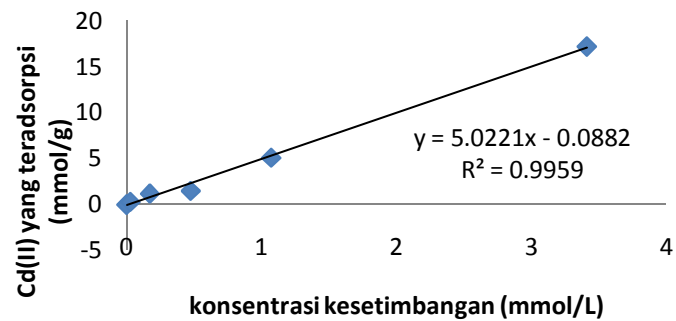


<b>A Na</b>	<b>C (ppm)</b>	<b>C</b>	<b>faktor kali pengenceran</b>	<b>C akhir</b>	<b>Co real</b>	<b>Co real-C akhir</b>	<b>(Co real-C akhir).V</b>	<b>qe (mg/g)</b>	<b>qe (mmol/g)</b>	<b>% adsorpsi</b>
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0,017	10	0,010398	10	0,103977	10,11178	10,00779828	0,150116974	5,003899142	0,044518676	98,971722
0,058	25	0,127632	25	3,190798	25,35092	22,16012477	0,332401872	11,08006239	0,098577067	87,413484
0,149	50	0,387835	50	19,39173	51,70263	32,3108916	0,484663374	16,1554458	0,143731724	62,493715
0,2	100	0,533663	100	53,36626	125,1365	71,77021055	1,076553158	35,88510528	0,319262502	57,353552
0,294	150	0,802443	150	120,3665	167,5461	47,17962048	0,707694307	23,58981024	0,209873757	28,159181
0,46	300	1,277099	300	383,1297	427,7359	44,60618664	0,6690928	22,30309332	0,198426097	10,428441

**Lampiran 15 Perhitungan adsorpsi isotermal logam Cd(II) menggunakan persamaan isotermal Langmuir pada adsorben pektin-Na**

**Isotermal Langmuir Pektin-Na**

Co real		C akhir		C teradsorp		qe (mg/g)	qe (mmol/g)	C akhir/qe
Co real (mg/L)	Co real (mmol/L)	C akhir (mg/L)	C akhir (mmol/L)	(mg/L)	(mmol/L)			
0	0	0	0	0	0	0	0	0
10,11177541	0,089962415	0,103977125	0,000925063	10,00779828	0,089037	5,003899142	0,044518676	0,020779221
25,3509228	0,225542018	3,190798024	0,028387883	22,16012477	0,197154	11,08006239	0,098577067	0,28797654
51,70262542	0,459987771	19,39173382	0,172524322	32,3108916	0,287463	16,1554458	0,143731724	1,200321802
125,13647	1,11331379	53,36625942	0,474788785	71,77021055	0,638525	35,88510528	0,319262502	1,48714234
167,5461398	1,49062402	120,3665194	1,070876507	47,17962048	0,419748	23,58981024	0,209873757	5,102479339
427,7358981	3,80547952	383,1297115	3,408627326	44,60618664	0,396852	22,30309332	0,198426097	17,17832168





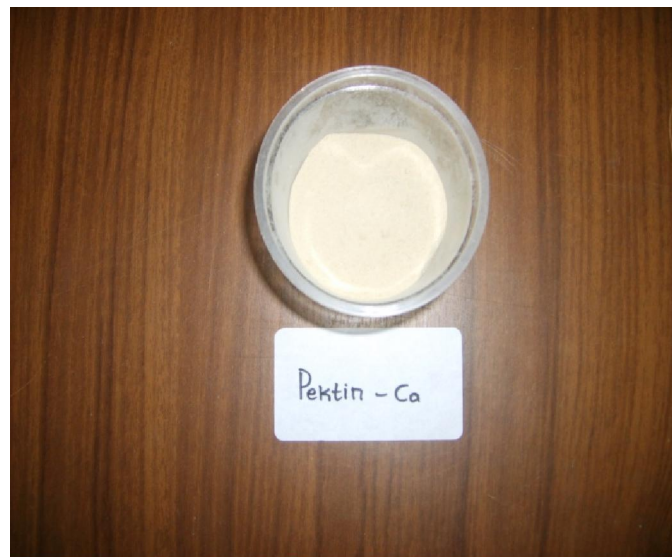
**Lampiran 16 Selektivitas adsorpsi pektin-Na terhadap Cd(II) dengan adanya Pb(II)**

<b>A Cd</b>	<b>perbandingan</b>	<b>C akhir (mmol/L)</b>	<b>Co real (mmol/L)</b>	<b>Co real-C akhir (mmol/L)</b>	<b>qe (mmol/g)</b>	<b>% adsorpsi</b>	<b>koefisien distribusi (D)</b>	<b>alpha Cd(II)</b>
0.247	1;1	0.619788361	0.866523156	0.246734795	0.123367398	28.47411444	0.199047619	0.074391534
0.207	1;2	0.34393679	0.600197245	0.256260455	0.128130228	42.69603986	0.372540046	0.274324943
0.237	1;3	0.296908139	0.454039245	0.157131106	0.078565553	34.6073843	0.264612326	0.023422622
0.275	2;1	0.92332846	1.266153108	0.342824648	0.171412324	27.07608155	0.185646096	0.055318786
0.265	3;1	0.999813833	1.521856196	0.522042363	0.261021181	34.30300209	0.261069784	0.175628764
<b>A Pb</b>	<b>perbandingan</b>	<b>C akhir (mmol/L)</b>	<b>Co real (mmol/L)</b>	<b>Co real-C akhir (mmol/L)</b>	<b>qe (mmol/g)</b>	<b>% adsorpsi</b>	<b>koefisien distribusi (DM)</b>	<b>alpha Pb(II)</b>
0.003	1;1	0.019420459	0.123346161	0.103925701	0.051962851	84.25531915	2.675675676	13.44238976
0.005	1;2	0.056685747	0.210647034	0.153961287	0.076980644	73.089701	1.358024691	3.645311979
0.003	1;3	0.029130636	0.687325554	0.658194918	0.329097459	95.76174112	11.2972973	42.69376815
0.004	2;1	0.020645229	0.159213207	0.138567978	0.069283989	87.03296703	3.355932203	18.0770416
0.003	3;1	0.009710177	0.038578271	0.028868094	0.014434047	74.82993197	1.486486486	5.693828157

LAMPIRAN 17 Selektivitas adsorpsi pektin-Na terhadap Cd(II) dengan adanya Zn(II)

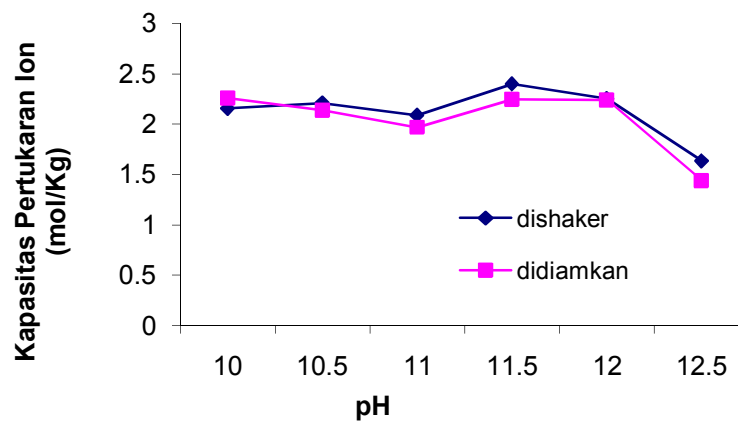
<b>A Cd</b>	<b>perbandingan</b>	<b>C</b>	<b>faktor kali pengenceran</b>	<b>C akhir (mmol/L)</b>	<b>Co (mmol/L)</b>	<b>Co real-C akhir (mmol/L)</b>	<b>qe (mmol/g)</b>	<b>% adsorpsi</b>	<b>koefisien distribusi (D)</b>	<b>alpha Cd(II)</b>
0.249	1;1	0.682451	100	0.607150894	0.845054917	0.237904024	0.118952012	28.1524927	0.195918367	0.910517061
0.226	1;2	0.618384	66.666	0.366772371	0.578244729	0.211472358	0.105736179	36.5714286	0.288288288	0.988761569
0.204	1;3	0.557103	49.999	0.247816691	0.425005626	0.177188934	0.088594467	41.6909621	0.3575	0.935901515
0.277	2;1	0.760446	133.328	0.902034715	1.19610464	0.294069925	0.147034963	24.5856354	0.163003663	2.481316722
0.268	3;1	0.735376	149.998	0.98136064	1.241569901	0.260209261	0.13010463	20.9580838	0.132575758	0.985668854
<b>A Zn</b>	<b>perbandingan</b>	<b>C</b>	<b>faktor kali pengenceran</b>	<b>C akhir (mmol/L)</b>	<b>Co (mmol/L)</b>	<b>Co real-C akhir (mmol/L)</b>	<b>qe (mmol/g)</b>	<b>% adsorpsi</b>	<b>koefisien distribusi (DM)</b>	<b>alpha Zn(II)</b>
0.215	1;1	0.994306	58.567	0.884604589	1.265290013	0.380685424	0.190342712	30.0868117	0.215172648	1.09827706
0.195	1;2	0.901285	78.087	1.069097238	1.692519956	0.623422718	0.311711359	36.8339951	0.291565022	1.011366169
0.174	1;3	0.803614	87.85	1.072420849	1.891717425	0.819296576	0.409648288	43.3096701	0.381984636	1.068488494
0.26	2;1	1.203602	39.045	0.713879038	0.8076719	0.093792862	0.046896431	11.612743	0.065692405	0.403011833
0.254	3;1	1.175696	29.283	0.522982123	0.663667812	0.140685689	0.070342845	21.1982089	0.134503345	1.014539514

### Lampiran 18 Adsorben pektin-Ca



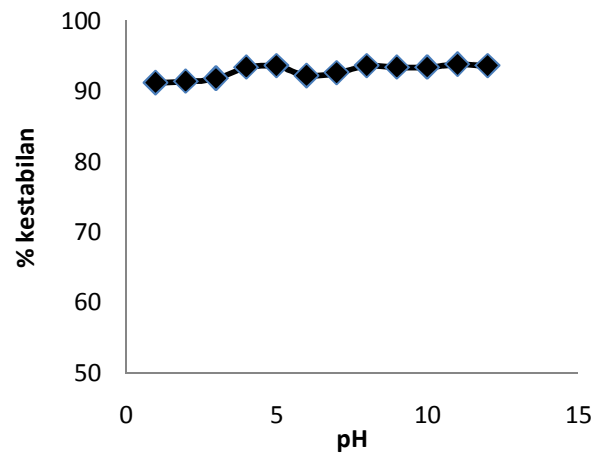
**Lampiran 19 Total pertukaran proton adsorben Pektin-Ca**

pH	didiamkan	dishaker
10	2,264	2,162
10,5	2,141	2,216
11	1,974	2,095
11,5	2,25	2,404
12	2,243	2,26
12,5	1,443	1,641

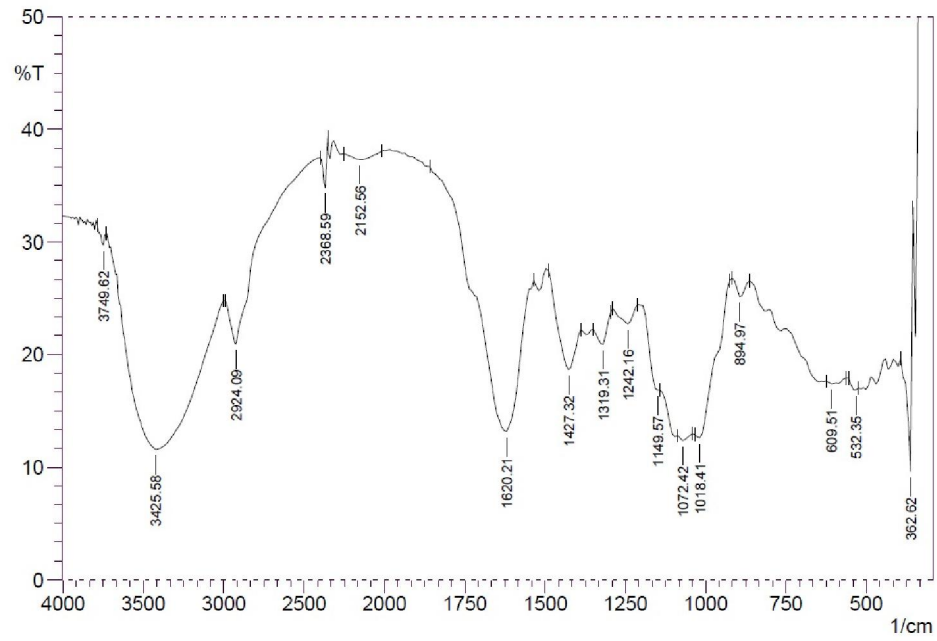


**Lampiran 20 Stabilitas adsorben pektin-Ca**

pH	berat awal (g)	berat akhir (g)	% Kestabilan
1	0,05	0,0456	91,2
2	0,05	0,0457	91,4
3	0,05	0,0459	91,8
4	0,05	0,0467	93,4
5	0,05	0,0468	93,6
6	0,05	0,0461	92,2
7	0,05	0,0463	92,6
8	0,05	0,0468	93,6
9	0,05	0,0467	93,4
10	0,05	0,0467	93,4
11	0,05	0,0469	93,8
12	0,05	0,0468	93,6



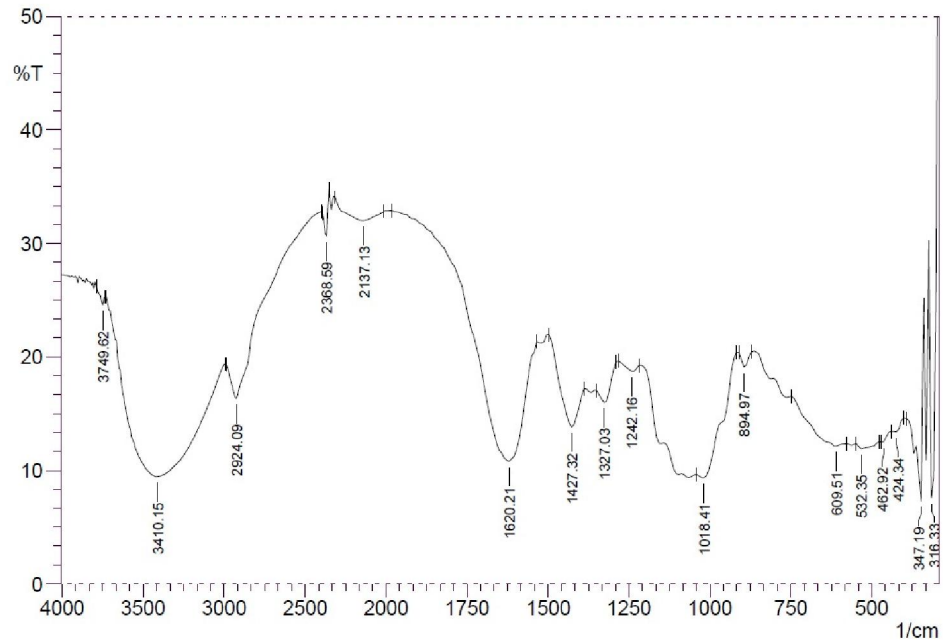
## Lampiran 21 Spektra FT-IR pektin-Ca pH 10



	Peak	Intensity	Corr. Intensity	Base (H)	Base (L)	Area	Corr. Area
1	362.62	9.59	20.79	393.48	354.9	29.68	7.65
2	532.35	16.86	0.39	555.5	524.64	23.73	0.26
3	609.51	17.41	0.29	624.94	563.21	46.61	0.33
4	894.97	25.14	1.54	918.12	864.11	31.68	0.65
5	1018.41	12.6	2.24	1033.85	925.83	80.05	2.24
6	1072.42	12.36	0.48	1087.85	1041.56	41.61	0.41
7	1149.57	16.82	0.85	1211.3	1141.86	47.89	-0.24
8	1242.16	22.72	1.56	1288.45	1211.3	48.67	1.21
9	1319.31	20.89	2.22	1350.17	1296.16	35.61	1.24
10	1427.32	18.63	5.59	1489.05	1388.75	67.43	6.14
11	1620.21	13.15	16.1	1859.38	1535.34	204.39	40.17
12	2152.56	37.31	0.62	2252.86	2013.68	101.64	1.03
13	2368.59	34.8	3.92	2399.45	2353.16	20.14	0.98
14	2924.09	20.93	5.34	2993.52	2399.45	303.74	7.88
15	3425.58	11.58	16.71	3726.47	3001.24	559.77	154.07
16	3749.62	29.7	1.24	3788.19	3734.19	27.89	0.45

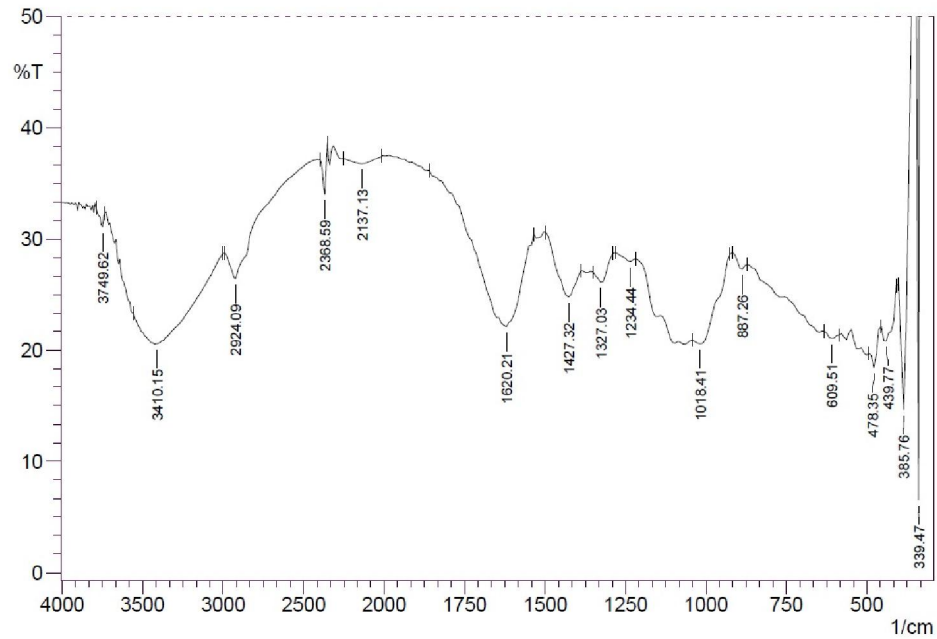
## Lampiran 22 Spektra FT-IR pektin-Ca pH 10,5

SHIMADZU



	Peak	Intensity	Corr. Intensity	Base (H)	Base (L)	Area	Corr. Area
1	316.33	7.589	36.954	324.04	293.18	21.197	14.125
2	347.19	7.268	15.876	393.48	339.47	48.897	10.715
3	424.34	13.396	0.51	439.77	401.19	33.085	0.301
4	462.92	12.504	0.232	470.63	439.77	27.281	0.054
5	532.35	11.905	0.485	547.78	478.35	63.638	0.773
6	609.51	12.119	0.989	748.38	578.64	148.196	4.28
7	894.97	19.108	1.297	910.4	871.82	27.207	0.59
8	1018.41	9.342	2.308	1041.56	918.12	108.822	4.833
9	1242.16	18.736	0.657	1280.73	1219.01	44.461	0.525
10	1327.03	15.983	2.01	1350.17	1288.45	47.038	1.694
11	1427.32	13.816	5.075	1496.76	1388.75	84.8	7.53
12	1620.21	10.784	12.76	1982.82	1535.34	296.005	40.609
13	2137.13	32.021	1.325	2314.58	2013.68	146.983	3.624
14	2368.59	30.631	3.296	2391.73	2353.16	18.968	0.85
15	2924.09	16.327	4.396	2985.81	2399.45	348.981	8.619
16	3410.15	9.441	13.282	3726.47	2993.52	641.542	160.896
17	3749.62	24.563	0.999	3788.19	3734.19	32.311	0.436

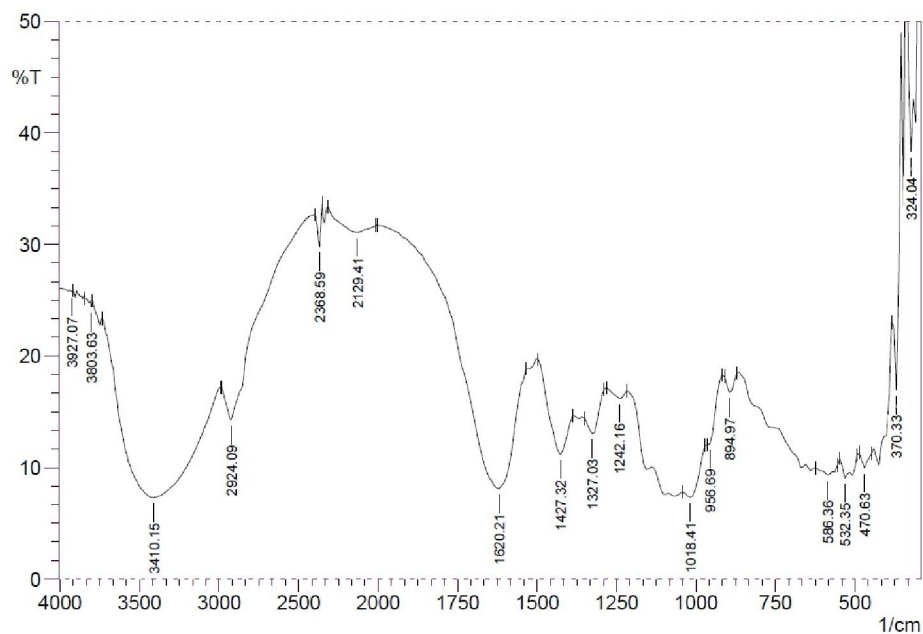
### Lampiran 23 Spektra FT-IR pektin-Ca pH 11



	Peak	Intensity	Corr. Intensity	Base (H)	Base (L)	Area	Corr. Area
1	339.47	6.54	118.05	354.9	331.76	9.29	11.12
2	385.76	14.67	29.37	401.19	354.9	23.47	9.58
3	439.77	20.84	2.51	455.2	408.91	30.29	1.77
4	478.35	18.41	2.28	493.78	455.2	26.92	0.69
5	609.51	21.07	0.45	632.65	586.36	31.15	0.24
6	887.26	27.26	0.81	918.12	871.82	25.77	0.29
7	1018.41	20.58	1.88	1041.56	925.83	73.01	2.78
8	1234.44	27.95	0.4	1280.73	1219.01	33.88	0.19
9	1327.03	26.1	1.52	1350.17	1288.45	35	0.82
10	1427.32	24.76	3.59	1496.76	1388.75	62.07	3.46
11	1620.21	22.1	9.8	1859.38	1535.34	177.5	21.8
12	2137.13	36.76	0.56	2252.86	2013.68	103.26	0.9
13	2368.59	34.02	4.12	2399.45	2353.16	20.48	1.03
14	2924.09	26.43	3.25	2993.52	2399.45	288.06	4.44
15	3410.15	20.57	4.17	3556.74	3001.24	351.9	26.05
16	3749.62	31.07	1.39	3788.19	3734.19	26.83	0.49

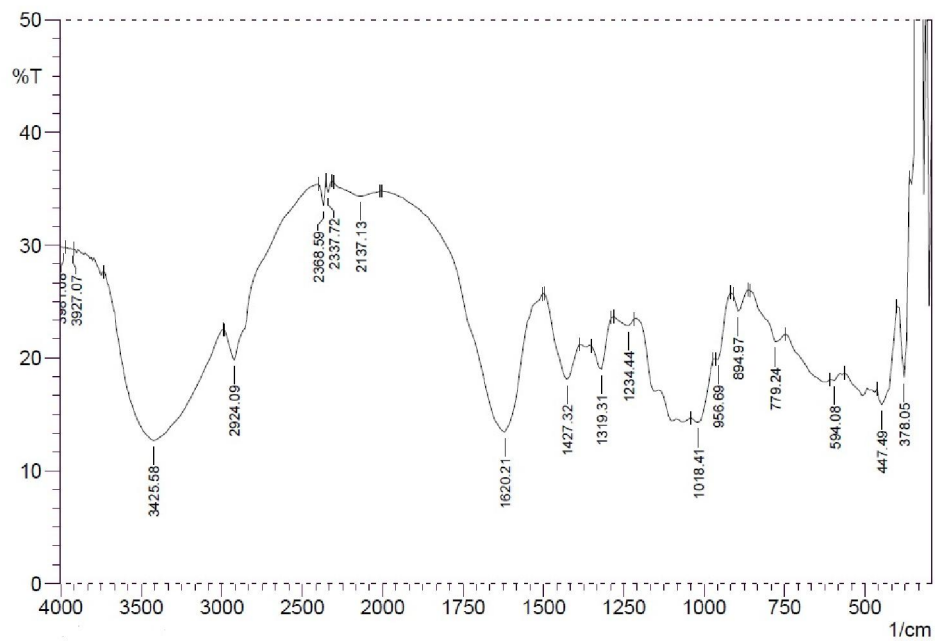


## Lampiran 24 Spektra FT-IR pektin-Ca pH 11,5



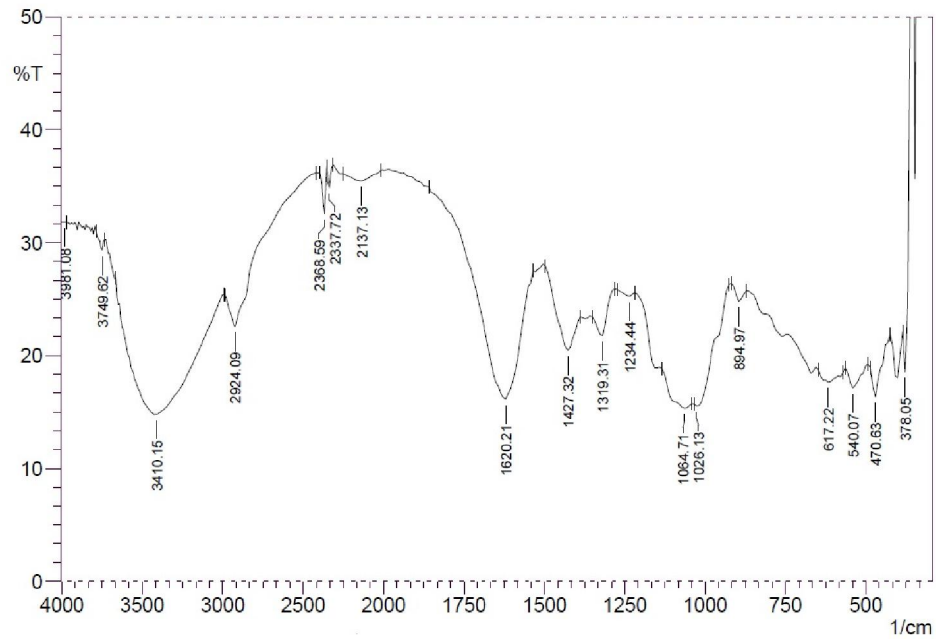
	Peak	Intensity	Corr. Intensity	Base (H)	Base (L)	Area	Corr. Area
1	324.04	38.296	39.592	339.47	293.18	13.629	9.483
2	370.33	16.941	22.679	385.76	339.47	22.343	6.321
3	470.63	9.967	1.348	486.06	447.49	37.573	1.045
4	532.35	9.045	1.862	547.78	493.78	54.617	2.845
5	586.36	9.318	0.765	624.94	555.5	70.523	1.334
6	894.97	16.732	1.538	910.4	871.82	29.261	0.835
7	956.69	12.042	1.043	964.41	918.12	37.802	0.43
8	1018.41	7.331	1.865	1041.56	972.12	73.616	3.878
9	1242.16	16.196	0.764	1280.73	1219.01	48.22	0.685
10	1327.03	13.042	2.346	1350.17	1288.45	51.747	2.336
11	1427.32	11.176	5.256	1496.76	1388.75	92.733	9.027
12	1620.21	8.102	13.079	2005.97	1535.34	335.187	50.959
13	2129.41	31.089	1.273	2314.58	2013.68	150.435	3.649
14	2368.59	29.801	3.554	2399.45	2353.16	23.139	1.011
15	2924.09	14.265	4.559	2985.81	2399.45	361.869	9.772
16	3410.15	7.303	13.343	3734.19	2993.52	709.262	191.607
17	3803.63	24.948	0.038	3842.2	3795.91	27.984	0.147
18	3927.07	25.764	0.115	4004.22	3919.35	49.751	0.058

## Lampiran 25 Spektra FT-IR pektin-Ca pH 12



	Peak	Intensity	Corr. Intensity	Base (H)	Base (L)	Area	Corr. Area
1	378.05	18.28	13.16	401.19	362.62	24.94	4.64
2	447.49	15.83	3.25	462.92	401.19	45.37	3.61
3	594.08	18.01	0.28	609.51	563.21	34.07	0.09
4	779.24	21.43	1.81	856.39	748.38	68.79	1.55
5	894.97	24.13	1.66	910.4	864.11	27.84	0.67
6	956.69	19.85	1.06	964.41	918.12	29.58	0.35
7	1018.41	14.28	2.13	1041.56	972.12	55.2	2.43
8	1234.44	22.87	0.62	1280.73	1219.01	39.22	0.45
9	1319.31	18.99	3.33	1350.17	1288.45	42.05	2
10	1427.32	18.09	4.75	1496.76	1388.75	74.23	5.73
11	1620.21	13.44	14.33	2005.97	1504.48	305.42	43.21
12	2137.13	34.36	0.79	2306.86	2013.68	134.72	1.78
13	2337.72	34.69	1.04	2353.16	2314.58	17.48	0.23
14	2368.59	33.52	2.11	2399.45	2353.16	21.3	0.54
15	2924.09	19.82	4.04	2985.81	2399.45	317.86	6.48
16	3425.58	12.68	12.84	3734.19	2993.52	571.61	124.83
17	3927.07	29.66	0.02	3973.36	3919.35	28.48	0.03
18	3981.08	29.82	0.01	4004.22	3973.36	16.22	0.01

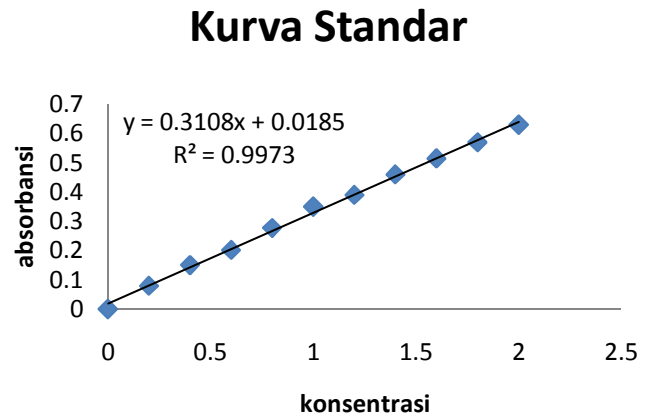
## Lampiran 26 Spektra FT-IR pektin-Ca pH 12,5

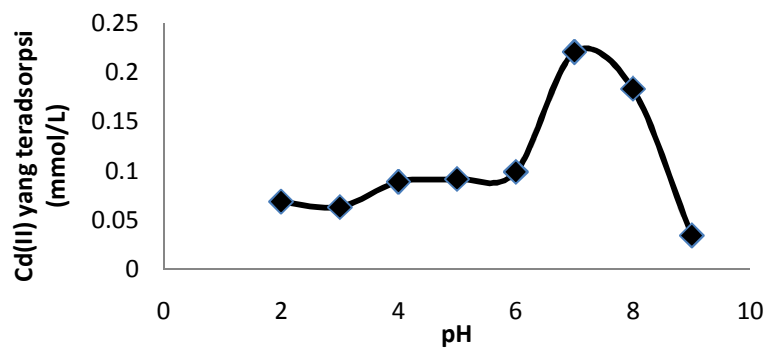
	Peak	Intensity	Corr. Intensity	Base (H)	Base (L)	Area	Corr. Area
1	378.05	18.53	14.01	385.76	362.62	12.47	3.21
2	470.63	16.35	3.32	486.06	424.34	44.41	1.98
3	540.07	17.13	1.9	563.21	493.78	51.52	1.61
4	617.22	17.64	1.01	648.08	570.93	57.49	1.14
5	894.97	24.81	1.27	918.12	871.82	27.55	0.49
6	1026.13	15.53	0.9	1033.85	925.83	75.5	1.66
7	1064.71	15.34	1.18	1134.14	1041.56	73.51	2.48
8	1234.44	25.25	0.39	1273.02	1219.01	32.09	0.21
9	1319.31	21.77	2.76	1350.17	1280.73	43.53	1.48
10	1427.32	20.44	4.59	1496.76	1388.75	69.12	4.87
11	1620.21	16.15	13.32	1859.38	1535.34	196.79	31.59
12	2137.13	35.48	0.76	2252.86	2013.68	106.65	1.25
13	2337.72	34.87	1.93	2353.16	2314.58	17.15	0.42
14	2368.59	32.53	4.03	2399.45	2353.16	21.27	1.02
15	2924.09	22.58	3.97	2985.81	2422.59	291.89	6.06
16	3410.15	14.79	11.54	3664.75	2993.52	488.74	97.58
17	3749.62	29.34	1.14	3788.19	3734.19	28.21	0.42
18	3981.08	31.8	0.03	4004.22	3973.36	15.35	0.01

### Lampiran 27 Optimasi pH terhadap proses adsorpsi logam Cd(II) oleh pektin-Ca

Konsentrasi standar	absorbansi
0	0
0,2	0,079
0,4	0,15
0,6	0,202
0,8	0,277
1	0,35
1,2	0,39
1,4	0,46
1,6	0,515
1,8	0,57
2	0,63



A	pH	C	faktor kali pengenceran	Co real
0,208	2	0,609535	100	60,9535
0,167	3	0,477625	100	47,7625
0,19	4	0,551623	100	55,16233
0,178	5	0,513016	100	51,30155
0,186	6	0,538754	100	53,8754
0,384	7	1,175782	100	117,5782
0,388	8	1,188652	100	118,8652
0,057	9	0,12372	100	12,37204



A Ca	pH	C	faktor kali pengenceran	C akhir	Co real	adsorpsi		Cd(II) yang teradsorpsi		% adsorpsi
						Co real-C akhir	(Co real-C akhir).V	qe (mg/g)	qe (mmol/g)	
0,160	2	0,455	100	45,510	60,953	15,443	0,232	7,721	0,068	25,336
0,123	3	0,336	100	33,606	47,762	14,156	0,212	7,078	0,063	29,639
0,128	4	0,352	100	35,215	55,162	19,947	0,299	9,974	0,089	36,161
0,114	5	0,307	100	30,711	51,302	20,591	0,309	10,295	0,092	40,137
0,117	6	0,317	100	31,676	53,875	22,199	0,333	11,099	0,099	41,205
0,230	7	0,680	100	68,032	117,578	49,547	0,743	24,773	0,220	42,139
0,260	8	0,777	100	77,683	118,865	41,182	0,618	20,591	0,183	34,646
0,033	9	0,046	100	4,650	12,372	7,722	0,116	3,861	0,034	62,411

**Lampiran 28 Optimasi waktu interaksi terhadap proses adsorpsi logam Cd(II) oleh pektin-Ca**

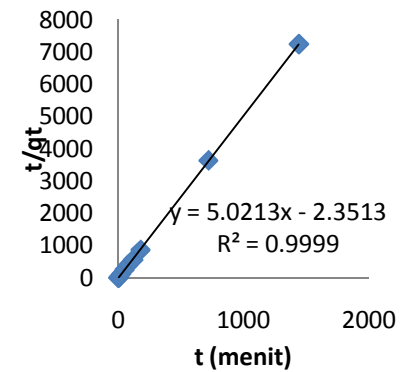
<b>A Ca</b>	<b>t (menit)</b>	<b>C</b>	<b>faktor kali pengenceran</b>	<b>C akhir (mg/L)</b>	<b>Co real (mg/L)</b>	<b>Co real-C akhir</b>	<b>(Co real-C akhir).V</b>	<b>qe (mg/g)</b>	<b>qe (mmol/g)</b>	<b>% adsorpsi</b>
0,263	3	0,767645398	100	76,76454	119,7252	42,96066253	0,644409938	21,48033126	0,19110615	35,882723
0,26	5	0,758328628	100	75,83286	119,7252	43,89233954	0,658385093	21,94616977	0,195250621	36,660902
0,256	10	0,745906268	100	74,59063	119,7252	45,13457557	0,677018634	22,56728778	0,200776582	37,698475
0,272	25	0,795595709	100	79,55957	119,7252	40,16563147	0,602484472	20,08281573	0,178672738	33,548184
0,262	50	0,764539808	100	76,45398	119,7252	43,27122153	0,649068323	21,63561077	0,19248764	36,142116
0,26	80	0,758328628	100	75,83286	119,7252	43,89233954	0,658385093	21,94616977	0,195250621	36,660902
0,248	120	0,721061547	100	72,10615	119,7252	47,61904762	0,714285714	23,80952381	0,211828504	39,77362
0,252	180	0,733483907	100	73,34839	119,7252	46,37681159	0,695652174	23,1884058	0,206302543	38,736048
0,258	720	0,752117448	100	75,21174	119,7252	44,51345756	0,667701863	22,25672878	0,198013601	37,179689
0,257	1440	0,749011858	100	74,90119	119,7252	44,82401656	0,672360248	22,41200828	0,199395091	37,439082

**Lampiran 29 Kinetika Moore, Pearson, Lagergren dan Ho pada pektin-Ca**

A Ca	t (menit)	C	faktor kali pengenceran	Ct (mmol/L)	Co real (mg/L)	Co (mmol/L)	ln Ct	1/Ct
0,263	3	0,767645398	100	0,682958539	119,7252023	1,065170839	-0,381321125	1,464217727
0,26	5	0,758328628	100	0,674669598	119,7252023	1,065170839	-0,393532193	1,482206999
0,256	10	0,745906268	100	0,663617676	119,7252023	1,065170839	-0,410049085	1,506891749
0,272	25	0,795595709	100	0,707825364	119,7252023	1,065170839	-0,345557877	1,412777857
0,262	50	0,764539808	100	0,680195559	119,7252023	1,065170839	-0,385374936	1,470165436
0,26	80	0,758328628	100	0,674669598	119,7252023	1,065170839	-0,393532193	1,482206999
0,248	120	0,721061547	100	0,641513832	119,7252023	1,065170839	-0,443924533	1,558812843
0,252	180	0,733483907	100	0,652565754	119,7252023	1,065170839	-0,426843373	1,532412625
0,258	720	0,752117448	100	0,669143637	119,7252023	1,065170839	-0,401756538	1,494447447
0,257	1440	0,749011858	100	0,666380656	119,7252023	1,065170839	-0,405894216	1,500643799

t(menit)	qe(mmol/g)	qt (mmol/g)	qe-qt (mmol/g)
3	0,211828504	0,19110615	0,020722354
5		0,195250621	0,016577883
10		0,200776582	0,011051922
25		0,178672738	0,033155766
50		0,19248764	0,019340863
80		0,195250621	0,016577883
180		0,206302543	0,005525961
720		0,198013601	0,013814902
1440		0,199395091	0,012433412

t (menit)	qt (mmol/g)	t/qt
3	0,19110615	15,69808193
5	0,195250621	25,60811321
10	0,200776582	49,8066055
25	0,178672738	139,9206186
50	0,19248764	259,7569378
80	0,195250621	409,7298113
120	0,211828504	566,496
180	0,206302543	872,505
720	0,198013601	3636,11386
1440	0,199395091	7221,842771



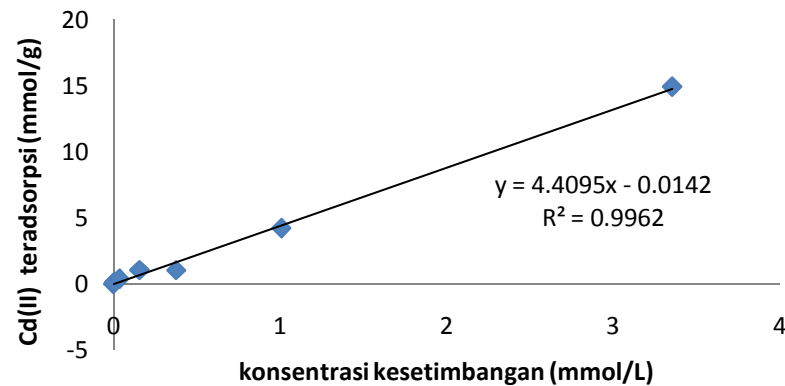
**Lampiran 30 Optimasi konsentrasi logam Cd(II) terhadap adsorben pektin-Ca**

<b>A Ca</b>	<b>C (ppm)</b>	<b>C</b>	<b>faktor kali pengenceran</b>	<b>C akhir</b>	<b>Co real</b>	<b>Co real-C akhir</b>	<b>(Co real-C akhir).V</b>	<b>qe (mg/g)</b>	<b>qe (mmol/g)</b>	<b>% adsorpsi</b>
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0,036	10	0,064726	10	0,647258	10,11178	9,464517806	0,141967767	4,732258903	0,042101948	93,598972
0,071	25	0,164804	25	4,120094	25,35092	21,23082922	0,318462438	10,61541461	0,09444319	83,747757
0,137	50	0,353522	50	17,67611	51,70263	34,02651417	0,510397713	17,01325708	0,151363497	65,811966
0,162	100	0,425006	100	42,50065	125,1365	82,63582012	1,239537302	41,31791006	0,367597065	66,03656
0,278	150	0,756694	150	113,504	167,5461	54,04211074	0,810631661	27,02105537	0,240400848	32,255062
0,453	300	1,257083	300	377,125	427,7359	50,61086561	0,759162984	25,3054328	0,225137303	11,83227



Lampiran 31 Perhitungan adsorpsi isotermal logam Cd(II) menggunakan persamaan isotermal Langmuir pada adsorben pektin-Ca

Co real		C akhir		C teradsorp		qe (mg/g)	qe (mmol/g)	C akhir/qe
Co real (mg/L)	Co real (mmol/L)	C akhir (mg/L)	C akhir (mmol/L)	(mg/L)	(mmol/L)			
0	0	0	0	0	0	0	0	0
10,11177541	0,089962415	0,647257603	0,00575852	9,464517806	0,084204	4,732258903	0,042101948	0,136775611
25,3509228	0,225542018	4,120093579	0,036655637	21,23082922	0,188886	10,61541461	0,09444319	0,388123661
51,70262542	0,459987771	17,67611126	0,157260776	34,02651417	0,302727	17,01325708	0,151363497	1,038961039
125,13647	1,11331379	42,50064986	0,378119661	82,63582012	0,735194	41,31791006	0,367597065	1,028625354
167,5461398	1,49062402	113,5040291	1,009822323	54,04211074	0,480802	27,02105537	0,240400848	4,200577201
427,7358981	3,80547952	377,1250325	3,355204915	50,61086561	0,450275	25,3054328	0,225137303	14,90292758



**Lampiran 32 Selektivitas adsorpsi pektin-Ca terhadap Cd(II) dengan adanya Pb(II)**

<b>A Cd</b>	<b>perbandingan</b>	<b>C akhir (mmol/L)</b>	<b>Co real (mmol/L)</b>	<b>Co real-C akhir (mmol/L)</b>	<b>qe (mmol/g)</b>	<b>% adsorpsi</b>	<b>koefisien distribusi (D)</b>	<b>alpha</b>
0.218	1;1	0.544469318	0.866523156	0.322053838	0.161026919	37.16621253	0.295750217	0.198287077
0.202	1;2	0.335279342	0.600197245	0.264917903	0.132458951	44.13847364	0.395070423	0.110739437
0.19	1;3	0.235873742	0.454039245	0.218165503	0.109082752	48.049922	0.462462462	0.040935673
0.253	2;1	0.847145205	1.266153108	0.419007903	0.209503952	33.09298856	0.247305834	0.107121778
0.259	3;1	0.976438802	1.521856196	0.545417394	0.272708697	35.83895741	0.279289082	0.187885383
<b>A Pb</b>	<b>perbandingan</b>	<b>C akhir (mmol/L)</b>	<b>Co real (mmol/L)</b>	<b>Co real-C akhir (mmol/L)</b>	<b>qe (mmol/g)</b>	<b>% adsorpsi</b>	<b>koefisien distribusi (DM)</b>	<b>alpha</b>
0.004	1;1	0.030967759	0.123346161	0.092378401	0.046189201	74.89361702	1.491525424	5.043193002
0.003	1;2	0.025893489	0.210647034	0.184753545	0.092376772	87.7076412	3.567567568	9.030206677
0.003	1;3	0.029130636	0.687325554	0.658194918	0.329097459	95.76174112	11.2972973	24.42857143
0.005	2;1	0.02834345	0.159213207	0.130869757	0.065434878	82.1978022	2.308641975	9.335169881
0.003	3;1	0.009710177	0.038578271	0.028868094	0.014434047	74.82993197	1.486486486	5.322393822

**Lampiran 33 Selektivitas adsorpsi pektin-Ca terhadap Cd(II) dengan adanya Zn(II)**

<b>A Cd</b>	<b>perbandingan</b>	<b>C</b>	<b>faktor kali pengenceran</b>	<b>C akhir (mmol/L)</b>	<b>Co (mmol/L)</b>	<b>Co real-C akhir (mmol/L)</b>	<b>qe (mmol/g)</b>	<b>% adsorpsi</b>	<b>koefisien distribusi (D)</b>	<b>alpha</b>
0.233	1;1	0.637883	100	0.567500223	0.845054917	0.277554694	0.138777347	32.8445748	0.244541485	0.822782641
0.207	1;2	0.56546	66.666	0.335381943	0.578244729	0.242862786	0.121431393	42	0.362068966	0.958834426
0.18	1;3	0.490251	49.999	0.218078688	0.425005626	0.206926937	0.103463469	48.6880466	0.474431818	1.116824823
0.25	2;1	0.685237	133.328	0.81282249	1.19610464	0.38328215	0.191641075	32.0441989	0.235772358	2.739146427
0.246	3;1	0.674095	149.998	0.899580587	1.241569901	0.341989314	0.170994657	27.5449102	0.190082645	1.313586276
<b>A Zn</b>	<b>perbandingan</b>	<b>C</b>	<b>faktor kali pengenceran</b>	<b>C akhir (mmol/L)</b>	<b>Co (mmol/L)</b>	<b>Co real-C akhir (mmol/L)</b>	<b>qe (mmol/g)</b>	<b>% adsorpsi</b>	<b>koefisien distribusi (DM)</b>	<b>alpha</b>
0.193	1;1	0.891983	58.567	0.793571118	1.265290013	0.471718895	0.235859448	37.2814841	0.297212742	1.215387819
0.176	1;2	0.812916	78.087	0.964273949	1.692519956	0.728246007	0.364123004	43.0273218	0.377613648	1.042932933
0.166	1;3	0.766405	87.85	1.022766511	1.891717425	0.868950914	0.434475457	45.9344986	0.424804149	0.895395571
0.251	2;1	1.161743	39.045	0.689051516	0.8076719	0.118620384	0.059310192	14.6867043	0.08607512	0.365077234
0.25	3;1	1.157092	29.283	0.514706494	0.663667812	0.148961318	0.074480659	22.4451624	0.144705109	0.761274701