

**ISOLASI NANOSELULOSA DARI PELEPAH POHON SALAK
UNTUK ADSORPSI ION LOGAM Ni(II)**

**Skripsi
Untuk memenuhi sebagian persyaratan
mencapai derajat Sarjana S-1**



**Alfi Musthofani
12630040**

**STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA**

**PROGRAM STUDI KIMIA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA
2017**



SURAT PERSETUJUAN SKRIPSI/TUGAS AKHIR

Hal: Persetujuan Skripsi/Tugas Akhir

Lamp.: -

Kepada

Yth. Dekan Fakultas Sains dan Teknologi

UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta

di Yogyakarta

Assalamu 'alaikum warahmatullahi wabarakatuh

Setelah membaca, meneliti, memberikan petunjuk, dan mengoreksi serta mengadakan perbaikan seperlunya, maka kami selaku pembimbing berpendapat bahwa skripsi Saudara:

Nama : Alfi Musthofani

NIM : 12630040

Judul Skripsi : Isolasi Nanoselulosa Dari Pelepah Pohon Salak Untuk Adsorpsi Ion Logam Ni(II)

sudah dapat diajukan kembali kepada Jurusan Kimia Fakultas Sains dan Teknologi UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Strata Satu dalam bidang Kimia.

Dengan ini, kami mengharapkan agar skripsi/tugas akhir Saudara tersebut di atas dapat segera dimunaqasyahkan. Atas perhatiannya, kami ucapkan terima kasih.

Wassalamu 'alaikum warahmatullahi wabarakatuh

Yogyakarta, 28 Juli 2017

Pembimbing,

Didik Krisdiyanto, M.Sc.

NIP.:19811111 201101 1 007



SURAT PERSETUJUAN SKRIPSI/TUGAS AKHIR

Hal: Persetujuan Skripsi/Tugas Akhir

Lamp.: -

Kepada

Yth. Dekan Fakultas Sains dan Teknologi

UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta

di Yogyakarta

Assalamu 'alaikum warahmatullahi wabarakatuh

Setelah membaca, meneliti, memberikan petunjuk, dan mengoreksi serta mengadakan perbaikan seperlunya, maka kami selaku pembimbing berpendapat bahwa skripsi Saudara:

Nama : Alfi Musthofani

NIM : 12630040

Judul Skripsi : Isolasi Nanoselulosa Dari Pelepah Pohon Salak Untuk Adsorpsi Ion Logam Ni(II)

sudah dapat diajukan kembali kepada Jurusan Kimia Fakultas Sains dan Teknologi UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Strata Satu dalam bidang Kimia.

Dengan ini, kami mengharapkan agar skripsi/tugas akhir Saudara tersebut di atas dapat segera dimunaqasyahkan. Atas perhatiannya, kami ucapkan terima kasih.

Wassalamu 'alaikum warahmatullahi wabarakatuh

Yogyakarta, 1 Agustus 2017

Pembimbing,

Pedy Artsanti, S.Si., M.Sc.

NIP.: 19720306 201301 2 301



NOTA DINAS KONSULTAN

Hal: Persetujuan Skripsi/Tugas Akhir

Kepada

Yth. Dekan Fakultas Sains dan Teknologi

UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta

di Yogyakarta

Assalamu 'alaikum warahmatullahi wabarakatuh

Setelah membaca, meneliti, memberikan petunjuk, dan mengoreksi serta mengadakan perbaikan seperlunya, maka kami berpendapat bahwa skripsi Saudara:

Nama : Alfi Musthofani

NIM : 12630040

Judul Skripsi : Isolasi Nanoselulosa Dari Pelepah Pohon Salak Untuk Adsorpsi Ion Logam Ni(II)

sudah benar dan sesuai ketentuan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Strata Satu dalam bidang Kimia.

Demikian kami sampaikan. Atas perhatiannya, kami ucapkan terima kasih.

Wassalamu 'alaikum warahmatullahi wabarakatuh

Yogyakarta, 21 Agustus 2017

Konsultan,

Pedy Artsanti, S.Si., M.Sc.

NIP.: 19720306 201301 2 301



NOTA DINAS KONSULTAN

Hal: Persetujuan Skripsi/Tugas Akhir

Kepada

Yth. Dekan Fakultas Sains dan Teknologi
UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta
di Yogyakarta

Assalamu 'alaikum warahmatullahi wabarakatuh

Setelah membaca, meneliti, memberikan petunjuk, dan mengoreksi serta mengadakan perbaikan seperlunya, maka kami berpendapat bahwa skripsi Saudara:

Nama : Alfi Musthofani

NIM : 12630040

Judul Skripsi : Isolasi Nanoselulosa Dari Pelepah Pohon Salak Untuk Adsorpsi Ion Logam Ni(II)

sudah benar dan sesuai ketentuan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Strata Satu dalam bidang Kimia.

Demikian kami sampaikan. Atas perhatiannya, kami ucapkan terima kasih.

Wassalamu 'alaikum warahmatullahi wabarakatuh

Yogyakarta, 21 Agustus 2017

Konsultan,

Irwan Nugraha, S.Si., M.Sc.

NIP. 1982032 201101 1 005



SURAT PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Alfi Musthofani

NIM : 12630040

Jurusan : Kimia

Fakultas : Sains dan Teknologi

menyatakan bahwa skripsi saya yang berjudul “**Isolasi Nanoselulosa Dari Pelepah Pohon Salak Untuk Adsorpsi Ion Logam Ni(II)**” merupakan hasil penelitian saya sendiri, 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, 28 Juli 2017



Alfi Musthofani
NIM.: 12630040



PENGESAHAN SKRIPSI/TUGAS AKHIR



KEMENTERIAN AGAMA
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI SUNAN KALIJAGA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
Jl. Marsda Adisucipto Telp. (0274) 540971 Fax. (0274) 519739 Yogyakarta 55281

PENGESAHAN TUGAS AKHIR

Nomor : B-1417/Un.02/DST/PP.00.9/08/2017

Tugas Akhir dengan judul : Isolasi Nanoselulosa Dari Pelepah Pohon Salak Untuk Adsorpsi Ion Logam Ni (II)

yang dipersiapkan dan disusun oleh:

Nama : ALFI MUSTHOFANI
Nomor Induk Mahasiswa : 12630040
Telah diujikan pada : Senin, 14 Agustus 2017
Nilai ujian Tugas Akhir : A

dinyatakan telah diterima oleh Fakultas Sains dan Teknologi UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta

TIM UJIAN TUGAS AKHIR

Ketua Sidang

Didik Krisdiyanto, S.Si., M.Sc.
NIP. 19811111 201101 1 007

Penguji I

Pedy Artsanti
NIP. 19720306 201301 2 301

Penguji II

Irwan Nugraha, S.Si., M.Sc.
NIP. 19820329 201101 1 005

Yogyakarta, 14 Agustus 2017
UIN Sunan Kalijaga
Fakultas Sains dan Teknologi
DEKAN



Dr. Murtono, M.Si
NIP. 19631212 200003 1 001

MOTTO

“Dan sesungguhnya, sesudah kesulitan itu ada kemudahan apabila kamu
bersungguh-sungguh”

(Q.S. Al-Insyirah: 7-9)

AKU PASTI BISA!



HALAMAN PERSEMBAHAN

Dengan penuh rasa syukur kepada Allah SWT dan shalawat serta
salam atas Rasul-Nya, kupersembahkan karya ini untuk:

Ibuku,

Perempuan terhebatku yang tak pernah lelah mendoakan yang terbaik
dalam hidupku

Bapak,

Lelaki terhebatku yang selalu mengajarkanku apa arti kerja keras dan
berusaha dengan sungguh

Untuk Almamater,

Program Studi Kimia UIN Sunan Kalijaga

Yogyakarta



STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

KATA PENGANTAR

Segala puji bagi *Rabbul'alamin* yang telah memberi kesempatan dan kekuatan sehingga skripsi yang berjudul “Isolasi Nanoselulosa Dari Pelepah Pohon Salak Untuk Adsorpsi Ion Logam Ni(II)” ini dapat diselesaikan sebagai salah satu persyaratan mencapai derajat Sarjana Kimia.

Penyusun mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah memberikan dorongan, semangat, dan ide-ide kreatif sehingga tahap demi tahap penyusunan skripsi ini telah selesai. Ucapan terima kasih tersebut secara khusus disampaikan kepada:

1. Dr. Murtono, M.Si., selaku Dekan Fakultas Sains dan Teknologi UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta.
2. Dr. Susy Yunita Prabawati, M.Si., selaku Ketua Jurusan Kimia yang telah memberikan motivasi dan pengarahan selama studi.
3. Didk Krisdiyanto, M.Sc., selaku Dosen Pembimbing skripsi yang telah ikhlas meluangkan waktu untuk membimbing, mengarahkan dan memotivasi penulis.
4. Pedy Artsanti, S.Si., M.Si., selaku Dosen Pembimbing skripsi yang telah ikhlas meluangkan waktu untuk membimbing, mengarahkan dan memotivasi penulis.

5. Dosen-dosen Program Studi Kimia Fakultas Sains dan Teknologi UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta yang sudah membagi ilmu yang sangat bermanfaat.
6. Wijayanto, S.Si., Isni Gustanti, S.Si., dan Indra Nafiyanto, S.Si., selaku laboran Laboratorium Kimia UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta.
7. Bapak dan Ibu tercinta, yang tidak pernah lelah mendoakan yang terbaik. Aku bersyukur menjadi anak dari orangtua terhebat seperti bapak ibu.
8. Teman-teman kimia 2012 yang tidak bisa disebutkan satu-persatu. Terimakasih atas kebersamaannya selama ini.
9. Semua pihak yang tidak bisa penulis sebutkan satu persatu atas bantuannya dalam penyelesaian skripsi ini.

Demi kesempurnaan skripsi ini, kritik dan saran sangat penulis harapkan. Penulis berharap skripsi ini bermanfaat bagi perkembangan ilmu pengetahuan secara umum dan kimia secara khusus.

Yogyakarta, 28 Juli 2017

Alfi Musthofani
12630040

DAFTAR ISI

	Halaman
SURAT PERSETUJUAN SKRIPSI/TUGAS AKHIR	ii
NOTA DINAS KONSULTAN	iv
SURAT PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI.....	vi
PENGESAHAN SKRIPSI/TUGAS AKHIR	vii
MOTTO	viii
HALAMAN PERSEMBAHAN	ix
KATA PENGANTAR	x
DAFTAR ISI.....	xii
DAFTAR GAMBAR	xiv
DAFTAR TABEL	xv
DAFTAR LAMPIRAN.....	xvi
ABSTRAK	xvii
BAB I PENDAHULUAN	1
A. Latar Belakang	1
B. Batasan Masalah	4
C. Rumusan Masalah	5
D. Tujuan Penelitian	5
E. Manfaat Penelitian	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI.....	7
A. Tinjauan Pustaka	7
B. Landasan Teori.....	10
1. Pelepah Pohon Salak.....	10
2. Lignin	11
3. Hemiselulosa.....	12
4. Selulosa	13
5. Nanoselulosa	14
6. Isolasi Nanoselulosa.....	15
7. Karakterisasi Nanoselulosa.....	17
8. Adsorpsi	20
9. Logam Nikel (Ni).....	24
BAB III METODE PENELITIAN.....	26
A. Waktu dan Tempat Penelitian	26
B. Alat-alat Penelitian.....	26
C. Bahan Penelitian	26
D. Cara Kerja Penelitian	27
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	31
A. Karakterisasi Pelepah Salak dan Nanoselulosa.....	31
1. Karakterisasi menggunakan <i>Fourier Transformation</i> <i>Infra Red</i> (FTIR)	31
2. Karakterisasi menggunakan <i>X-Ray Diffraction</i> (XRD)	34
3. Karakterisasi menggunakan <i>Scanning Electron</i> <i>Microscopy</i> (SEM).....	36

B. Uji Adsorpsi Logam Ni(II)	38
1. Pengaruh pH Larutan pada adsorpsi logam Ni(II)	38
2. Penentuan Kinetika Adsorpsi logam Ni(II)	39
3. Penentuan Kesetimbangan Adsorpsi Logam Ni(II)	42
4. Penentuan Termodinamika Adsorpsi Logam Ni(II)	45
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....	48
A. Kesimpulan	48
B. Saran.	49
DAFTAR PUSTAKA	50
LAMPIRAN.....	55



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Struktur dinding sel tanaman (Lee, 2014).....	11
Gambar 2.2. Struktur Kimia Lignin (Grabber, 2003).....	12
Gambar 2.3. Struktur kimia hemiselulosa (Agbor, 2011).....	13
Gambar 2.4. Selulosa (Khalil, 2012)	14
Gambar 2.5. Hidrolisis asam menghilangkan bagian amorf dari selulosa (Peng,2011).....	16
Gambar 2.6. Mekanisme pembentukan nanoselulosa dengan ultrasonikasi.....	17
Gambar 4.1. Spetra FTIR: (A) Pelepah salak dan (B) Nanoselulosa.	31
Gambar 4.2. Difraktogram XRD (A) Pelepah salak dan (B) Nanoselulosa.	34
Gambar 4.3. Hasil analisis SEM (A) Pelepah salak dan (B) Nanoselulosa.....	36
Gambar 4.4. Grafik pengaruh pH terhadap adsorpsi logam Ni(II).....	38
Gambar 4.5. Grafik kinetika adsorpsi pseudo orde pertama	40
Gambar 4.6. Grafik kinetika adsorpsi pseudo orde kedua.....	40
Gambar 4.7. Grafik isoterm Langmuir pada adsorben pelepah salak dan nanoselulosa.....	42
Gambar 4.8. Grafik isoterm Freundlich pada adsorben pelepah salak dan nanoselulosa.....	43
Gambar 4.9. Grafik termodinamika adsorpsi ion logam Ni(II) pada adsorben pelepah salak dan nanoselulosa.....	46

DAFTAR TABEL

Tabel 4.1. Interpretasi spektra FTIR pelepah salak dan nanoselulosa	32
Tabel 4.2. Model kinetika adsorpsi pelepah salak dan nanoselulosa	41
Tabel 4.3. Model isoterm adsorpsi pelepah salak dan nanoselulosa.....	44
Tabel 4.4. Parameter termodinamika adsorpsi ion logam Ni(II)	46



DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Perhitungan Kristalinitas Dan Ukuran Kristal.....	54
Lampiran 2. Perhitungan Pada Variasi pH	55
Lampiran 3. Perhitungan Pada Penentuan Pseudo Orde Reaksi	56
Lampiran 4. Perhitungan Pada Penentuan Isoterm Adsorpsi	60
Lampiran 5. Perhitungan Pada Penentuan Termodinamika Adsorpsi	64



ABSTRAK
**ISOLASI NANOSELULOSA DARI PELEPAH POHON
SALAK UNTUK ADSORPSI ION LOGAM Ni(II)**

Oleh:
Alfi Musthofani
12630040

Pembimbing
Didk Krisdiyanto, M.Sc.
Pedy Artsanti, M.Si.

Telah dilakukan penelitian tentang isolasi nanoselulosa dari pelepah pohon salak untuk adsorpsi ion logam Ni(II). Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui bagaimana karakteristik biomassa pelepah pohon salak dan nanoselulosa dari pelepah pohon salak. Serta mengetahui pengaruh pH, kinetika, kesetimbangan dan termodinamika adsorpsi logam Ni(II) dengan biomassa pelepah pohon salak dan nanoselulosa.

Penelitian ini diawali dengan tentang isolasi selulosa dari pelepah pohon salak dan dilanjutkan pembuatan nanoselulosa dari selulosa menggunakan metode hidrolisis asam. Nanoselulosa dan biomassa pelepah pohon salak kemudian dikarakterisasi menggunakan *Fourier Transform Infrared* (FT-IR), *X-Ray Diffraction* (XRD) dan *Scanning Electron Microscopy* (SEM). Selanjutnya Nanoselulosa dan pelepah pohon salak digunakan untuk adsorpsi ion logam Ni(II). Hasil XRD dan FT-IR menunjukkan bahwa nanoselulosa berhasil diisolasi pada pelepah salak ditunjukkan dengan munculnya serapan khas selulosa pada bilangan gelombang 894-cm^{-1} yang menunjukkan serapan vibrasi ulur C-O-C dan adanya puncak khas selulosa yaitu pada sudut 2θ sekitar $15,4^\circ$ dan $22,3^\circ$. Kristalinitas pelepah salak yaitu sebesar 43% sedangkan nanoselulosa mengalami kenaikan kristalinitas menjadi 58,42%. Perkiraan ukuran kristal pelepah salak sebesar 21,09 nm sedangkan ukuran kristal nanoselulosa lebih kecil yaitu 16,52 nm.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa pH larutan berpengaruh terhadap proses adsorpsi ion Ni(II). Kinetika adsorpsi ion Ni(II) mengikuti model pseudo orde kedua dengan konstanta laju adsorpsi untuk pelepah salak $0,355\text{ g/mg.min}^{-1}$ dan nanoselulosa $0,302\text{ g/mg.min}^{-1}$. Kesetimbangan adsorpsi ion Ni(II) mengikuti model Isoterm Langmuir dengan kapasitas adsorpsi maksimum ($q_{\max}$) pelepah salak $1,15 \times 10^{-4}\text{ mol/g}$ dan nanoselulosa $8,4 \times 10^{-5}\text{ mol/g}$. Nilai ΔH° negatif menunjukkan proses eksoterm. Nilai ΔG° negatif menunjukkan bahwa reaksi berjalan spontan.

Kata Kunci : Nanoselulosa, Adsorpsi, Logam Ni(II), Hidrolisis Asam.

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Dewasa ini telah kita ketahui pencemaran lingkungan terjadi di kota-kota besar yang notabene merupakan kawasan industri. Pertumbuhan penduduk yang semakin pesat pada masa sekarang ini mengakibatkan timbulnya masalah di kehidupan ini, baik masalah lingkungan maupun masalah pangan. Pertumbuhan penduduk yang semakin pesat juga diiringi dengan pesatnya perkembangan industri di berbagai bidang di tanah air ini. Perkembangan industri memberikan dampak positif dan negatif bagi kehidupan manusia, dampak positif yang muncul menyebabkan terpenuhinya kebutuhan manusia yang efisien dan efektif, sedangkan dampak negatif yang ditimbulkan mengakibatkan terjadinya pencemaran lingkungan yang disebabkan oleh pembuangan limbah industri.

Limbah cair sebagai hasil samping dari aktivitas industri sering menimbulkan permasalahan bagi lingkungan. Limbah cair tersebut mengandung bahan-bahan berbahaya dan beracun yang keberadaannya dalam perairan dapat menghalangi sinar matahari menembus lingkungan akuatik, sehingga mengganggu proses-proses biologis yang terjadi di dalamnya. Salah satu bahan berbahaya yang biasa terdapat dalam air limbah yaitu logam berat. Diantara semua unsur logam berat, Hg menduduki urutan pertama dalam hal sifat racunnya, dibandingkan dengan logam berat lainnya, kemudian diikuti oleh logam berat antara lain Cd, Ag, Ni, Pb, As, Cr, Sn, Zn (Waldchuk, 1984). Pencemaran logam berat terhadap lingkungan merupakan suatu proses yang erat hubungannya dengan

penggunaan logam tersebut oleh manusia (Krim, 2006). Toksisitas logam pada manusia menyebabkan beberapa akibat negatif, tetapi yang terutama adalah timbulnya kerusakan jaringan, terutama jaringan detoksikasi dan ekskresi (hati dan ginjal).

Nikel, khususnya Ni(II) dikenal sebagai pencemar anorganik dan usaha untuk menghilangkannya dari lingkungan harus menjadi perhatian utama karena senyawa nikel bersifat karsinogenik dan juga dapat menyebabkan asma (Hanif, dkk., 2006). Nikel berada di lingkungan karena berbagai proses seperti industri penyamakan kulit, pengawetan kayu, industri pulp, pembuatan baja, dan sebagainya (Congeevaram, dkk., 2007). *Environmental Protection Agency* (EPA) telah menetapkan ambang batas pembuangan nikel pada air limbah adalah 2-3 mg/L (Aslam, dkk., 2010), sedangkan ambang batas nikel dalam air minum adalah di bawah 0,04 mg/L (Rodríguez, dkk., 2006).

Mengingat masalah yang dapat ditimbulkan oleh logam berat, banyak metode yang telah dikembangkan untuk menurunkan kadar logam berat dalam perairan. Metode-metode penanggulangan limbah yang sering dilakukan adalah metode adsorpsi, biodegradasi, serta metode kimia seperti klorinasi dan ozonisasi. Metode-metode tersebut cukup efektif dalam menanggulangi limbah namun metode tersebut memerlukan biaya operasional yang sangat besar. Selain metode tersebut, metode, seperti koagulasi kombinasi, oksidasi elektrokimia, flokulasi, osmosis balik, dan adsorpsi menggunakan karbon aktif juga sering digunakan (Wijaya dkk, 2006). Pada penelitian ini dipilih adsorpsi karena teknik tersebut merupakan teknik yang relatif sederhana.

Dewasa ini adsorben organik banyak diaplikasikan karena selain ketersediaannya yang berlimpah, bahan baku mudah didapat dan harganya yang relatif murah. Adsorben yang sering digunakan adalah tumbuhan-tumbuhan hasil dari limbah pertanian, perkebunan, dan industri makanan. Pelepah pohon salak merupakan limbah perkebunan salak dan pemanfaatannya hanya sebatas sebagai kayu bakar. Di dalam pelepah pohon salak mengandung senyawa kimia seperti selulosa, hemiselulosa dan lignin karena termasuk dalam golongan kayu-kayuan (Klemm, 2002). Terdapatnya selulosa dan hemiselulosa menjadikan pelepah pohon salak berpotensi untuk digunakan sebagai adsorben ion logam di lingkungan karena keberadaan gugus fungsional –OH pada selulosa (Crini, 2005).

Nanoselulosa adalah suatu material yang dapat diperbarui dalam banyak aplikasi berbeda, seperti dalam bidang kimia, makanan, farmasi, dan lain-lain. Nanopartikel distabilkan dalam suspensi melalui proses hidrolisis dengan asam. Suspensi nanokristal selulosa dapat dibentuk menjadi suatu fase kristalin likuid. Modifikasi kimia sederhana dalam permukaan nanoselulosa dapat mengalami dispersabilitas dalam pelarut yang berbeda. Nanoselulosa diperoleh dari proses hidrolisis menggunakan asam dari α - selulosa, diklasifikasikan dalam pembahasan baru nanomaterial. Proses isolasi nanoselulosa memiliki banyak pengkajian, seperti dimensi skala nanometer, tinggi kekuatan spesifik dan modulus, dan tinggi daerah permukaan (Habibi dkk, 2010). Adanya perubahan ukuran dan sifat dari nanoselulosa maka nanoselulosa dapat digunakan sebagai *filler* penguat pada berbagai polimer antara lain polietilen (Prachayawarakorn dkk, 2010), karet alam (Pasquini dkk, 2010), dan polipropilen (Reddy dkk, 2009), aditif untuk pembawa

obat (Ioelovich, 2012) dan adsorben (Abhishek dkk, 2013). Pada penelitian ini selulosa pada pelepah pohon salak diisolasi dan diubah menjadi berukuran nano. Sehingga dengan mengubahnya dalam ukuran nano dapat meningkatkan luas permukaan dari selulosa serta dapat memperbesar kapasitas adsorpsi dari selulosa tersebut.

B. Batasan Masalah

Batasan masalah dalam penelitian ini adalah:

1. Sampel yang digunakan pada penelitian ini yaitu ion logam Ni(II).
2. Bahan adsorben yang digunakan yaitu dari pelepah pohon salak.
3. Metode isolasi nanoselulosa yang digunakan yaitu metode *physico-chemical treatment*.
4. Karakterisasi hasil isolasi menggunakan Spektrofotometer *Fourier Transform Infra Red* (FTIR), *X-Ray Diffraction* (XRD), dan *Scanning Electron Microscopy* (SEM).
5. Penentuan ion logam Ni(II) menggunakan *Atomic Absorption Spectroscopy* (AAS).
6. Kajian adsorpsi ion Ni(II) menggunakan serat pelepah pohon salak dan nanoselulosa meliputi pengaruh pH, kinetika, kesetimbangan dan termodinamika adsorpsi logam Ni(II) dengan pohon salak dan nanoselulosa.

C. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang dan batasan masalah diatas dapat dirumuskan masalah sebagai berikut :

1. Bagaimana karakteristik biomassa pelepah pohon salak dan nanoselulosa dari pelepah pohon salak?
2. Bagaimana pengaruh pH terhadap adsorpsi ion logam Ni(II) pada serat pelepah pohon salak dan nanoselulosa?
3. Bagaimana kinetika, kesetimbangan dan termodinamika adsorpsi logam Ni(II) dengan biomassa pelepah pohon salak dan nanoselulosa?

D. Tujuan Penelitian

Berdasarkan perumusan masalah diatas maka tujuan penelitian ini adalah :

1. Mengetahui karakteristik biomassa pelepah pohon salak dan nanoselulosa dari pelepah pohon salak.
2. Mengetahui pengaruh pH terhadap adsorpsi ion logam Ni(II) pada serat pelepah pohon salak dan nanoselulosa.
3. Mengetahui kinetika, kesetimbangan dan termodinamika adsorpsi logam Ni(II) dengan biomassa pelepah pohon salak dan nanoselulosa.

E. Manfaat Penelitian

1. Bagi Mahasiswa

Menambah pengetahuan dan wawasan dibidang isolasi nanoselulosa dan aplikasi nanoselulosa dapat digunakan untuk adsorpsi ion logam Ni(II).

2. Bagi Akademik

Sebagai bahan informasi dan referensi bagi mahasiswa yang akan mengembangkan metode dalam isolasi nanoselulosa serta aplikasinya.

3. Bagi Masyarakat

Memberikan informasi tentang pemanfaatan nanoselulosa dalam pengolahan limbah cair yang mengandung ion logam Ni(II).

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, maka dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Karakteristik pelepah salak dan nanoselulosa ditunjukkan dengan munculnya serapan khas selulosa pada bilangan gelombang 894-cm^{-1} yang menunjukkan serapan vibrasi ulur C-O-C pada sambungan glikosidik antar unit glukosa di dalam rantai selulosa. Hasil XRD menunjukkan bahwa nanoselulosa berhasil diisolasi pada pelepah salak dengan adanya puncak khas selulosa yaitu pada sudut 2θ sekitar $15,4^\circ$ dan $22,3^\circ$. Kristalinitas pelepah salak yaitu sebesar 43% sedangkan nanoselulosa mengalami kenaikan kristalinitas menjadi 58,42%. Perkiraan ukuran kristal pelepah salak sebesar 21,09 nm sedangkan ukuran kristal nanoselulosa lebih kecil yaitu 16,52 nm.
2. pH larutan berpengaruh terhadap proses adsorpsi. Pada pH rendah kation logam Ni(II) bersaing ion H^+ pada situs aktif kedua adsorben sehingga % adsorpsi cenderung kecil. Pada pH tinggi kation logam Ni(II) mulai mengendap sehingga menyebabkan % adsorpsi naik secara signifikan.
3. Berdasarkan model kinetika, pelepah salak dan nanoselulosa mengikuti model kinetika pseudo orde kedua. Konstanta laju pseudo orde kedua pelepah salak dan nanoselulosa adalah $0,355\text{ g/mg.min}^{-1}$ dan $0,302\text{ g/mg.min}^{-1}$. Keseimbangan adsorpsi ion logam Ni(II) mengikuti model Isoterm Langmuir. Nilai kapasitas adsorpsi maksimum pelepah salak dan nanoselulosa sebesar

6,761 mg/g dan 4,919 mg/g. Model termodinamika adsorpsi ion logam Ni(II) pada pelepah salak menghasilkan energi entalpi (ΔH^0) yang bernilai negatif (proses eksotermis) sedangkan adsorpsi ion logam Ni(II) pada pelepah salak menghasilkan energi entalpi (ΔH^0) yang bernilai positif (proses endotermis). Energi bebas Gibbs kedua adsorben bernilai negatif menunjukkan bahwa reaksi berjalan spontan.

B. Saran.

Saran dari penulis selanjutnya perlu dilakukan adsorpsi logam-logam berat lainnya. Selain itu, perlu dipelajari proses desorpsi agar adsorben bisa digunakan kembali dan karakterisasi analisis luas permukaan pori pelepah salak dan nanoselulosa menggunakan *Gas Sorption Analyzer* (GSA).

DAFTAR PUSTAKA

- Abdul Khalil, H.P.S., Davoudpour Y, Islam MN, Mustapha A, Sudesh K, DunganiR, Jawaid M. 2014. *Production and modification of nanofibrillated cellulose using various mechanical processes: a review*. *Carbohydr Polym* 99:649–665
- Aghor, V.B., N. Cicek, R. Sparling, A. Berlin, and D. B. Levin, *Biomass pretreatment: fundamentals toward application*. *Biotechnology Advances*, vol. 29, no. 6, pp. 675–685, 2011.
- Arup, Mandal. 2011. *Isolation of nanocellulose from waste sugarcane bagasse (SCB) and its characterization*. *Carbohydrate Polymers*. 86, 1291-1299.
- Atkins, P.W., 1999, *Kimia Fisika*, University Lecturer and Fellow of LinNile, Nillege, Oxford.
- Bahri, S. 2010. *Isoterm dan Termodinamika Adsorpsi Kation Cu^{2+} Fasa Berair pada Lempung Cengar Terpillar*. *Jurnal Natur Indonesia*. 1. 14. 7-13.
- Bernardo, S. L. B.; Fabiano V. P.; Jean, L. P.; Bruno J., *Preparation morphology and structure of cellulose nanocrystals from bamboo fibers*. *Cellulose*, 2012, 19, 1527–1536.
- Cabiac, A, E. Guillon, F. Chambon, C. Pinel, F. Rataboul, and N.Essayem, *Cellulose reactivity and glycosidic bond cleavage in aqueous phase by catalytic and non catalytic transformations*. *Applied Catalysis A: General*, vol. 402, no. 1-2, pp. 1–10, 2011.
- Castellan, G.W. 1982. *Physical Chemistry 3rd Edition*. Genera: New York.
- Crini, G. *Recent development in polysaccharide based materials used as adsorbents in wastewater treatment*. *J. Prog. in Poly. Sci.* 2005, 30 (1), 30-70.
- Das K, Ray D, Bandyopadhyay NR, Sahoo S, Mohanty AK, Misra M. 2011. *Physicomechanical properties of the jute micro/nanofibril reinforced starch/polyvinyl alcohol biocomposite films*. *Nimpos Part B* 42:376–381
- Deng H, Zhou X, Wang X, Zhang C, Ding B, Zhang Q, Du Y. 2010. *Layer-by-layer structured polysaccharides film mediated cellulose nanofibrous mats for cell culture*. *Carbohydr Polym* 80:475–480
- Deppa B., dkk. 2015. *Utilization of various lignocellulosic biomass for the production of nanocellulose: a comparative study*. *Cellulose* 22:1075–1090
- Fatimah, Is. 2013. *Kinetika Kimia*. Yogyakarta: Graha Ilmu.
- Filson, P. B.; Benjamin, E.; Dawson A.; Diane S. B., *Enzymatic-mediated production of cellulose nanocrystals from recycled pulp*. *Green Chemistry*, 2009, 11, 1808– 1814

- Fukuzumi H, Saito T, Isogai A. 2013. *Influence of TEMPO oxidized cellulose nanofibril length on film properties*. Carbohydr Polym 93:172–177
- Gadd, G.M. 2000. *Bioremedial Potential of Microbial Mechanism of Metal Mobilization and Immobilization*. Current Opinion in Biotechnology. 11. 271-279.
- Grabber, J.H., *How do lignin composition, structure, and cross-linking affect degradability? a review of cell wall model studies*. Proceedings of the CSSA Annual Meeting Lignin and Forage Digestibility Symposium, vol. 45, pp. 820–831, Denver, Colo, USA, 2003.
- Habibi, Y., Lucia, L.A., dan Rojas, O.J. 2010. *Cellulose Nanocrystals: Chemistry, Self-Assembly, and Applications*. Chemical Reviews. 110: 3479 – 3500.
- Han, J.; Chengjun, Z.; Alfred, D. F.; Guangping, H.; Qinglin, W., *Characterization of cellulose II nanoparticles regenerated from 1-butyl-3-methylimidazolium chloride*. Carbohydrate Polymers, 2013, 94, 773-781
- Hendriks, A.T.W.M. and G. Zeeman. *Pretreatments to enhance the digestibility of lignocellulosic biomass*. Bioresource Technology, vol. 100, no. 1, pp. 10–18, 2009.
- Himmel, M.E., S. Ding, D.K. Johnson. *Biomass recalcitrance: engineering plants and enzymes for biofuel production*. Science, vol. 315, no. 5813, pp. 804–807, 2007.
- Ho, Y.S., Mc Kay, G., Wase, D.A.J., Foster, C.F. 2000. *Study of the Sorption of Divalent Metal Ions onto Peat*. Adsorp. Sci. Technology. 18. 639-650.
- Ioelovich, M. 2012. *Optimal Conditions for Isolation of Nanocrystalline Cellulose Particles*. Nanocrystals and Nanotechnology. 2(2), 9-13.
- Isdin O., *Nanoscience in nature: cellulose nanocrystals*. Surg, 2010, 3(2)
- Jiang, Feng; You-Lo Hsieh. *Chemically and mechanically isolated nanocellulose and their self-assembled structures*. Carbohydrate Polymers 95. 2013. 32–40
- Kardam, Abhishek dkk. 2013. *Nanocellulose fibers for biosorption of cadmium, nickel, and lead ions from aqueous solution*. Clean Techn Environ Policy 16:385–393
- Khalil, H.P.S.A., A.H. Bhat, and A.F.I. Yusra. *Green composites from sustainable cellulose nanofibrils: a review*. Carbohydrate Polymers, vol. 87, no. 2, pp. 963–979, 2012.
- Klemm D, Kramer F, Moritz S, Lindstrom T, Ankerfors M, Gray D, Dorris A. 2011. *Nanocelluloses: a new family of nature-based materials*. Angew Chem Int Ed 50:5438–5466
- Lehninger, A.L. 1993. *Dasar-dasar biokimia*. Jilid 1, 2, 3. (Alih bahasa oleh; M. Thenawidjaja). Erlangga, Jakarta.
- Li, W., Yue, J., Liu, S. 2012 *Preparation of nanocrystalline cellulose via ultrasound and its reinforcement capability for poly(vinyl alcohol) composites*. Ultrasonics Sonochemistr. 19, 479-485.

- Man, Z.; Nawshad, M.; Ariyanti, S.; Mohamad, A. B.; Vignesh, K. M.; Sikander, R., *Preparation of Cellulose Nanocrystals Using an Ionic Liquid*. Journal of Polymer and the Environment, 2011 , 19, 726-731
- Metzger, J.O. and A. Huttermann. *Sustainable global energy supply based on lignocellulosic biomass from afforestation of degraded areas*. Naturwissenschaften, vol. 96, no. 2, pp. 279–288, 2009.
- Mood, S.H., A. H. Golfeshan, M. Tabatabaei. *Lignocellulosic biomass to bioethanol, a comprehensive review with a focus on pretreatment*. Renewable and Sustainable Energy Reviews, vol. 27, pp. 77–93, 2013.
- Mudasir., Raharjo, G., Tahir. I., Wahyuni, E. 2008. *Immobilization of Dithizone onto Chitin Isolated from Prawn Seawater Shells (P. merguensis) and its Preliminary Study for the Adsorption of Ion Cd(II)*. Journal of Physical Science. Vol. 19. 63–78.
- Oscik, J. 1982. *Adsorption*. Ellis Harwood Limited: England.
- Pasquini D, Teixeira EM, Curvelo AAS, Belgacem MN, Dufresne A. 2010. *Extraction of cellulose whiskers from cassava bagasse and their applications as reinforcing agent in natural rubber*. Ind Crop Prod. 32: 486–490.
- Pedersen, M. and A. S. Meyer. *Lignocellulose pretreatment severity—relating pH to biomatrix opening*. New Biotechnology, vol. 27, no. 6, pp. 739–750, 2010.
- Peng, B. L., Dhar, N., Liu H.L., K. C. Tam. 2011. *Chemistry Applications of Nanocrystalline Cellulose and Its derivate : A Nanotechnology Perspective*. Matter Lett. 61, 5050-5052.
- Perez, J., J. Mu'noz-Dorado, T. De La Rubia, and J. Mart'inez. *Biodegradation and biological treatments of cellulose, hemicellulose and lignin: an overview*. International Microbiology, vol. 5, no. 2, pp. 53–63, 2002.
- Prachayawarakorn, J., Sangnitdej, P., and Boonpasith, P. 2010. *Properties of thermoplastic rice starch composites reinforced by cotton fiber or low-density polyethylene*. Carbohydr Polym. 81: 425-433.
- Quiroz-Castaneda, R. E. and J. L. Folch-Mallol. *Plant Cell wall degrading and remodeling proteins: current perspectives*. Biotecnologia Aplicada, vol. 28, no. 4, pp. 205–215, 2011.
- Reddy, N. and Yang, Y. 2009. *Properties and potential applications of natural cellulose fibers from the bark of cotton stalks*. Bioresource Technol. 100: 3563- 3569.
- Risfidiyan Mohadi, dkk. 2013. *Kajian Interaksi Ion Co^{2+} Dengan Selulosa dari Serbuk Gergaji Kayu*. Cakra Kimia. Nomor 2. Volume 1

- Ritonga, N. I., 2010. *Analisis Kadar Unsur Nikel (Ni), Kadmium (Cd) dan Magnesium (Mg) dalam Air Minum Kemasan dengan Metode Spektrofotometri Serapan Atom (SSA)*. Departemen Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Sumatera Utara, Medan.
- Rodríguez, C. E., Quesada, A. and Rodríguez E., 2006, *Nickel Biosorption by Acinetobacter baumannii and Pseudomonas aeruginosa Isolated from Industrial Wastewater*, Brazilian Journal of Microbiology, 37, 465-467.
- Rosa, M. F.; Medeiros, E. S.; Malmonge, J. A.; Gregorski K. S.; Wood, D. F.; Mattoso, L. H. C.; Glenn, G.; Orts, W. J.; Imam, S. H., *Cellulose nanowhiskers from coconut husk fibers: Effect of preparation conditions on their thermal and morphological behavior*. Carbohydrate Polymers, 2010, 81, 83-92
- Sacui IA, Nieuwendaal RC, Burnett DJ, Stranick SJ, Jorfi M, Weder C, Foster EJ, Olsson RT, Gilman JW. 2014. *Nimparison of the properties of cellulose nanocrystals and cellulose nanofibrils isolated from bacteria, tunicate, and woodprocessed using acid, enzymatic, mechanical, and oxidativemethods*. ACS Appl Mater Interfaces 6:6127–6138
- Sadeghifar, H.; Ilari, F.; Sarah, P. C.; Dermot F. B.; Dimitris S. A., *Production of cellulose nanocrystals using hydrobromic acid and click reactions on their surface*. Springer. Journal Material Science, 2011
- Saito T, Uematsu T, Kimura S, Enomae T, Isogai A. 2011. *Selfaligned integration of native cellulose nanofibrils towards producing diverse bulk materials*. Soft Matter 7:8804–8809
- Svehla, G., 1990, *Analisis Anorganik Kualitatif Makro dan Semimikro bagian I edisi kelima*, diterjemahkan oleh L. Setiono dan Hadyana Pudjaatmaka, PT. Kalman Media Pustaka, Jakarta, 280.
- Teixeira D. M. E., Daniel P., Antônio A.S. C., Elisângela C., Mohamed N. B., Alain D. 2009. *Cassava bagasse cellulose nanofibrils reinforced thermoplastic cassava starch*. Journal Elsevier Carbohydrate Polymers. 422-431.
- Wang, H.; Changbin, Z.; Hong, H.; Lian W., *Glucose production from hydrolysis of cellulose over a novel silica catalyst under hydrothermal conditions*. Journal of Environmental Sciences, 2012, 24(3), 473–478
- Xiaohui Ju, dkk. 2014. *An improved X-ray diffraction method for cellulose crystallinity measurement*. Carbohydrate Polymers 123: 476–481
- Xiaotao, Zhang ; Ximing Wang. 2015. *Adsorption and Desorption of Nickel(II) Ions from Aqueous Solution by a Lignocellulose/ Montmorillonite Nanocomposite*. Water and Modification of Lignocellulose
- Xiong, R.; Xinxing, Z.; Dong, T.; Zehang, Z.; Canhui, L., *Comparing microcrystalline with spherical nanocrystalline cellulose from waste cotton fabrics*. Cellulose, 2012, 19, 1189–1198.

- Xu X, Liu F, Jiang L, Zhu JY, Haagenson D, Wiesenborn DP. 2013. *Cellulose nanocrystals vs cellulose nanofibrils: a comparative study on their microstructures and effects as polymer reinforcing agents*. ACS Appl Mater Interfaces 5:2999–3009
- Zhang, I., Gu, F.X., Chan, J.M., Wang, A.Z., Langer, R.S., and Farokhzad, O.C. 2008. *Nanoparticles in Medicine: Therapeutic Applications and Development*. Clinical Pharmacology & Therapeutics. 83 (5): 761-765.
- Zhou, Q., Brumer, H. and T. T. Teeri. 2012. *Self-Organisation of Cellulose Nanocrystals Adsorbed with Xyloglucan Oligosaccharide-Poly(ethylene glycol)-Polystyrene Triblock Copolymer*. Macromolecules. 42, 5430–5432.

LAMPIRAN

Lampiran 1. Perhitungan Kristalinitas Dan Perkiraan ukuran Kristal

1. Indeks kristalinitas

Persamaan Segal

$$\text{Indeks kristalinitas} = \frac{I_{\text{kristalin}} - I_{\text{amorf}}}{I_{\text{kristalin}}} \times 100\%$$

a. Pelepah salak

$$\begin{aligned}\text{Indeks kristalinitas} &= \frac{100 - 57}{100} \times 100\% \\ &= 43 \%\end{aligned}$$

b. Nanoselulosa

$$\begin{aligned}\text{Indeks kristalinitas} &= \frac{493 - 205}{493} \times 100\% \\ &= 58,42 \%\end{aligned}$$

2. Perkiraan ukuran kristal

Persamaan scherrer

$$\text{Perkiraan ukuran kristal} = \frac{0,89 \lambda}{\beta \cos \theta}$$

a. Pelepah salak

$$\begin{aligned}\text{Perkiraan ukuran kristal} &= \frac{0,89 \times 0,154 \text{ nm}}{0,0508 \times \cos 11,125} \\ &= \frac{0,1371 \text{ nm}}{0,0065} \\ &= 21,09 \text{ nm}\end{aligned}$$

b. Nanoselulosa

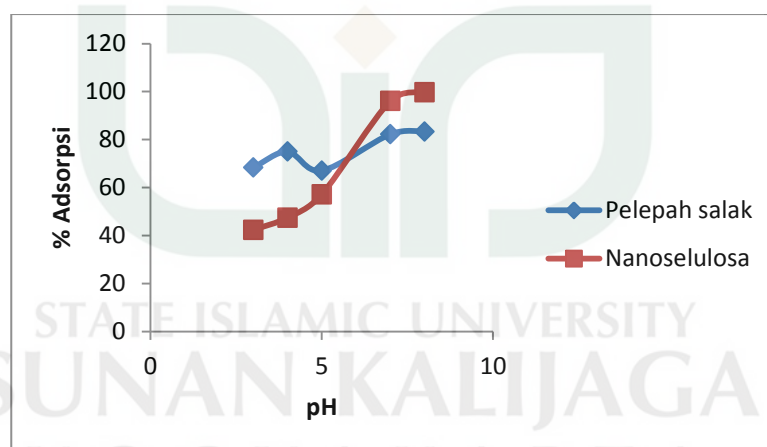
$$\begin{aligned}\text{Perkiraan ukuran kristal} &= \frac{0,89 \times 0,154 \text{ nm}}{0,0422 \times \cos 11,195} \\ &= \frac{0,1371 \text{ nm}}{0,0083} \\ &= 16,52 \text{ nm}\end{aligned}$$

Lampiran 2. Perhitungan Pada Variasi pH

Volume larutan Ni(II) = 10 mL

Tabel 1. Hasil perhitungan pada variasi pH

Adsorben	pH	Co (mg/L)	Ce (mg/L)	Ni teradsorp (mg/L)	% Adsorpsi
Pelepah salak	3	27,086	8,576	18,51	68,338
	4	27,086	6,783	20,303	74,957
	5	27,086	8,918	18,168	67,075
	7	27,086	4,818	22,268	82,212
	8	27,086	4,520	22,566	83,312
Nanoselulosa	3	27,086	15,622	11,464	42,324
	4	27,086	14,236	12,85	47,441
	5	27,086	11,617	15,469	57,111
	7	27,086	1,057	26,029	96,097
	8	27,086	0,085	27,001	99,686



Gambar 1. Grafik hubungan antara pH dengan % adsorpsi

Lampiran 3. Perhitungan Pada Penentuan Pseudo Orde Reaksi

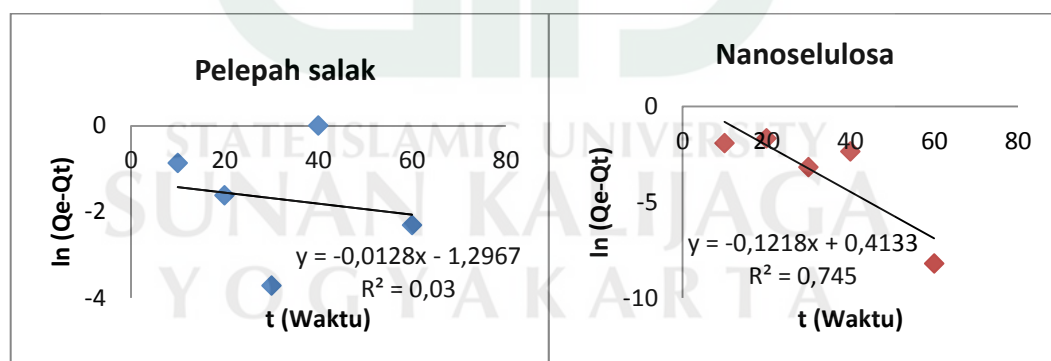
Tabel 2. Penentuan orde reaksi pada adsorben Pelepah salak

Waktu (Menit)	Co (mg/L)	Ce (mg/L)	Qe (mg/g)	Qt (mg/g)	Qe-Qt	ln (Qe-Qt)	t/Qt
10	27,086	10,526	3,732	3,312	0,420	-0,868	3,019
20	27,086	9,413	3,732	3,535	0,197	-1,623	5,658
30	27,086	8,547	3,732	3,708	0,024	-3,719	8,091
40	27,086	8,424	3,732	3,732	0	0	10,717
60	27,086	8,918	3,732	3,634	0,098	-2,318	16,513

Tabel 3. Penentuan orde reaksi pada adsorben Nanoselulosa

Waktu (Menit)	Co (mg/L)	Ce (mg/L)	Qe (mg/g)	Qt (mg/g)	Qe-Qt	ln (Qe-Qt)	t/Qt
10	27,086	12,336	3,094	2,950	0,144	-1,937	3,390
20	27,086	12,542	3,094	2,909	0,185	-1,687	6,876
30	27,086	11,823	3,094	3,053	0,041	-3,184	9,828
40	27,086	12,080	3,094	3,001	0,093	-2,378	13,328
60	27,086	11,617	3,094	3,094	0,000	-8,230	19,394

1. Kinetika Adsorpsi Pseudo Orde Pertama



Gambar 2. Grafik kinetika adsorpsi pseudo orde pertama

a. Adsorben Pelepah salak

Persamaan Lagergren:

$$\ln (q_e - q_t) = -K_1 t + \ln q_e$$

Persamaan garis lurus $y = -0,0128x - 1,2967$, $R^2 = 0,03$ maka:

$$y = \ln (q_e - q_t) \text{ (mg/g)}.$$

$$x = t \text{ (menit)}$$

$$-k_1 = -0,0128$$

$$K_1 = 0,0128 \text{ menit}^{-1}.$$

$$\ln q_e = 1,2967$$

$$q_e = 0,2598 \text{ mg/g}$$

b. Adsorben Nanoselulosa

Persamaan Lagergren:

$$\ln (q_e - q_t) = -K_1 t + \ln q_e$$

Persamaan garis lurus $y = -0,1218x + 0,4133$, $R^2 = 0,745$, maka:

$$y = \ln (q_e - q_t) \text{ (mg/g)}.$$

$$x = t \text{ (menit)}$$

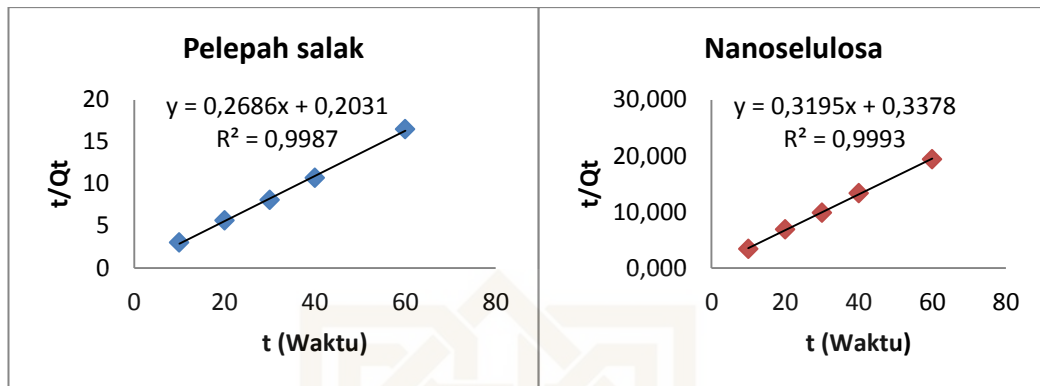
$$-k_1 = -0,1218$$

$$K_1 = 0,1218 \text{ menit}^{-1}.$$

$$\ln q_e = 0,4133$$

$$q_e = 0,8836 \text{ mg/g}$$

2. Kinetika Adsorpsi Pseudo Orde Kedua



Gambar 4. Grafik kinetika adsorpsi pseudo orde kedua

a. Adsorben Pelepah salak

$$\frac{t}{qt} = \frac{1}{k_2 qe^2} + \frac{1}{qe} t$$

$$\frac{t}{qt} = \frac{1}{qe} t + \frac{1}{k_2 qe^2}$$

Persamaan garis lurus $y = 0,2686x + 0,2031$, $R^2 = 0,9987$, maka:

$$y = \frac{t}{qt} \text{ (menit.g/mg)}$$

$$x = t \text{ (menit)}$$

$$\frac{1}{qe} = 0,2686$$

$$qe = 3,723 \text{ mg/g.}$$

$$\frac{1}{k_2 qe^2} = 0,2031$$

$$\frac{1}{k_2} \cdot \frac{1}{qe^2} = 0,2031$$

$$\frac{1}{k_2} \cdot \frac{1}{(3,723)^2} = 0,2031$$

$$\frac{1}{(13,861)k_2} = 0,2031$$

$$k_2 = \frac{1}{(13,861)(0,2031)}$$

$$k_2 = 0,355 \text{ g/mg.menit}^{-1}$$

b. Adsorben Nanoselulosa

$$\frac{t}{qt} = \frac{1}{k_2 qe^2} + \frac{1}{qe} t$$

$$\frac{t}{qt} = \frac{1}{qe} t + \frac{1}{k_2 qe^2}$$

Persamaan garis lurus $y = 0,3195x + 0,3378$, $R^2 = 0,9993$, maka:

$$y = \frac{t}{qt} \text{ (menit.g/mg)}$$

$$x = t \text{ (menit)}$$

$$\frac{1}{qe} = 0,3195$$

$$qe = 3,129 \text{ mg/g.}$$

$$\frac{1}{k_2 qe^2} = 0,3378$$

$$\frac{1}{k_2} \cdot \frac{1}{qe^2} = 0,3378$$

$$\frac{1}{k_2} \cdot \frac{1}{(3,129)^2} = 0,3378$$

$$\frac{1}{(9,796)k_2} = 0,3378$$

$$k_2 = \frac{1}{(9,796)(0,3378)}$$

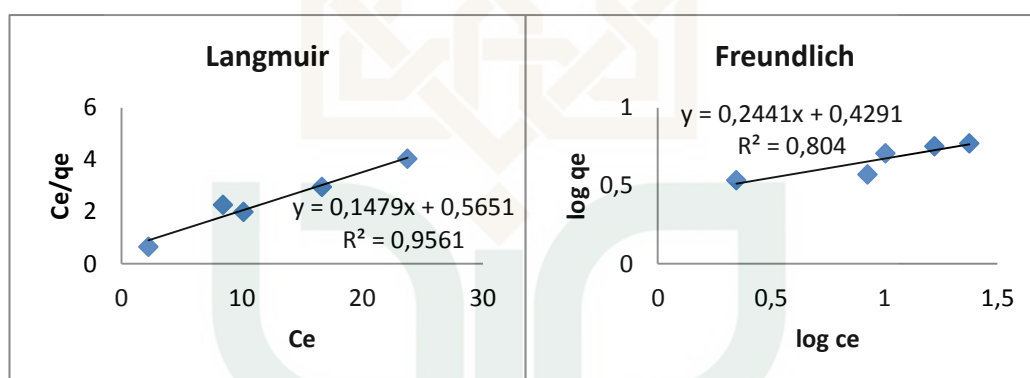
$$k_2 = 0,302 \text{ g/mg.menit}^{-1}$$

Lampiran 4. Perhitungan Pada Penentuan Isoterm Adsorpsi

1. Adsorben Pelepah salak

Tabel 4. Penentuan isoterm adsorpsi pada adsorben Pelepah salak

Co (mg/L)	Ce (mg/L)	Volume larutan Cu (L)	Massa adsorben (gram)	qe (mg/g)	Ce-qe (mg/g)	log Ce	log qe
19,36	2,223	0,010	0,050	3,427	0,649	0,347	0,535
27,086	8,424	0,010	0,050	3,732	2,257	0,926	0,572
35,595	10,130	0,010	0,050	5,093	1,989	1,006	0,707
44,857	16,658	0,010	0,050	5,640	2,954	1,222	0,751
53,245	23,762	0,010	0,050	5,897	4,030	1,376	0,771



Gambar 5. Grafik isoterm Langmuir dan Freundlich pada adsorben Pelepah salak

a. Persamaan Langmuir:

$$\frac{Ce}{qe} = \frac{1}{q_{\max}} Ce + \frac{1}{K_L q_{\max}}$$

Persamaan garis lurus: $y = 0,1479x + 0,5651$, $R^2 = 0,9561$

$$\text{Satuan slope} = \frac{1}{q_{\max}} = \frac{Ce/qe}{Ce} = \frac{g/L}{mg/L} = g/mg$$

$$\text{Slope} = \frac{1}{q_{\max}} = 0,1479 g/mg$$

$$q_{\max} = 6,761 \text{ mg/g}$$

$$q_{\max} = \frac{6,761 \text{ mg/g}}{58,7 \text{ g/mol}}$$

$$q_{\max} = 0,115 \text{ mmol/g} = 1,15 \times 10^{-4} \text{ mol/g}$$

$$\text{Satuan intercept} = \text{sumbu } y = \frac{C_e}{q_e} = \frac{\text{mg/L}}{\text{mg/g}} = \text{g/L}$$

$$\text{Intercept} = \frac{1}{K_L q_{\max}} = 0,5651 \text{ g/L}$$

$$\frac{1}{K_L} = \frac{0,5651 \text{ g/L}}{1/q_{\max}}$$

$$\frac{1}{K_L} = \frac{0,5651 \text{ g/L}}{0,1479 \text{ g/mg}}$$

$$0,5651 \text{ g/L} \times K_L = 0,1479 \text{ g/mg}$$

$$K_L = \frac{0,1479 \text{ g/mg}}{0,5651 \text{ g/L}}$$

$$K_L = 0,262 \text{ mg/L}$$

b. Persamaan Freundlich :

$$\text{Log } q_e = \frac{1}{n} \log C_e + \log K_F$$

$$\text{Persamaan garis lurus : } y = 0,2441x + 0,4291, R^2 = 0,804$$

$$\text{Slope} = \frac{1}{n} = 0,2441$$

$$n = 4,096$$

$$\text{Intercept} = q_e = \text{mg/g}$$

$$\text{Log } K_F = 0,4291 \text{ mg/g}$$

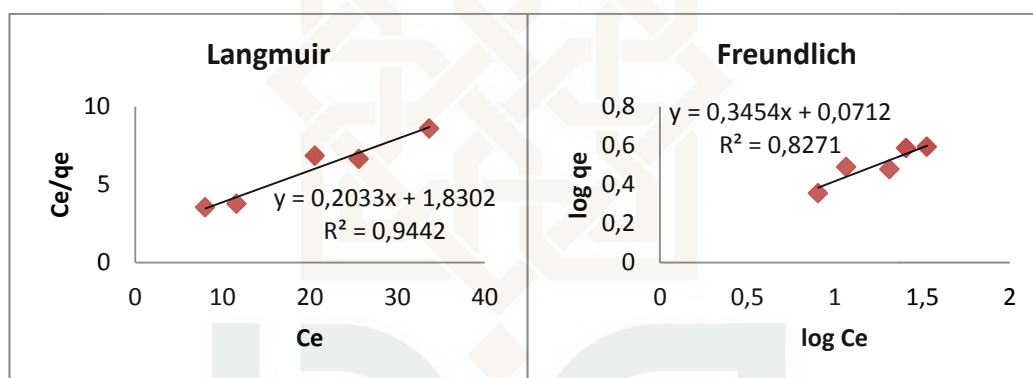
$$K_F = 10^{0,4291} \text{ mg/g}$$

$$K_F = 2,686 \text{ mg/g}$$

2. Adsorben Nanoselulosa

Tabel 5. Penentuan isotherm adsorpsi pada adsorben Nanoselulosa

Co (mg/L)	Ce (mg/L)	Volume larutan Cu (L)	Massa adsorben (gram)	qe (mg/g)	Ce-qe (mg/g)	log Ce	log qe
19,360	8,016	0,010	0,050	2,269	5,747	0,904	0,356
27,086	11,617	0,010	0,050	3,094	8,524	1,065	0,490
35,595	20,572	0,010	0,050	3,005	17,567	1,313	0,478
44,857	25,578	0,010	0,050	3,856	21,722	1,408	0,586
53,245	33,664	0,010	0,050	3,916	29,747	1,527	0,593



Gambar 6. Grafik isotherm Langmuir dan Freundlich pada adsorben Nanoselulosa

a. Persamaan Langmuir:

$$\frac{C_e}{q_e} = \frac{1}{q_{\max}} C_e + \frac{1}{K_L q_{\max}}$$

Persamaan garis lurus: $y = 0,2033x + 1,8302$, $R^2 = 0,9442$

$$\text{Satuan slope} = \frac{dy}{dx} = \frac{C_e/q_e}{C_e} = \frac{g/L}{mg/L} = g/mg$$

$$\text{Slope} = \frac{1}{q_{\max}} = 0,2033 \text{ g/mg}$$

$$q_{\max} = 4,919 \text{ mg/g}$$

$$q_{\max} = \frac{4,919 \text{ mg/g}}{58,7 \text{ g/mol}}$$

$$q_{\max} = 0,084 \text{ mmol/g} = 8,4 \times 10^{-5} \text{ mol/g}$$

$$\text{Satuan intercept} = \text{sumbu } y = \frac{C_e}{q_e} = \frac{\text{mg/L}}{\text{mg/g}} = \text{g/L}$$

$$\text{Intercept} = \frac{1}{K_L q_{\max}} = 1,8302 \text{ g/L}$$

$$\frac{1}{K_L} = \frac{1,8302 \text{ g/L}}{1/q_{\max}}$$

$$\frac{1}{K_L} = \frac{1,8302 \text{ g/L}}{0,2033 \text{ g/mg}}$$

$$1,8302 \text{ g/L} \times K_L = 0,2033 \text{ g/mg}$$

$$K_L = \frac{0,2033 \text{ g/mg}}{1,8302 \text{ g/L}}$$

$$K_L = 0,111 \text{ mg/L}$$

b. Persamaan Freundlich :

$$\text{Log } q_e = \frac{1}{n} \log C_e + \log K_F$$

$$\text{Persamaan garis lurus : } y = 0,3454x + 0,0712, R^2 = 0,8271$$

$$\text{Slope} = \frac{1}{n} = 0,3454$$

$$n = 2,895$$

$$\text{Intercept} = q_e = \text{mg/g}$$

$$\text{Log } K_F = 0,0712 \text{ mg/g}$$

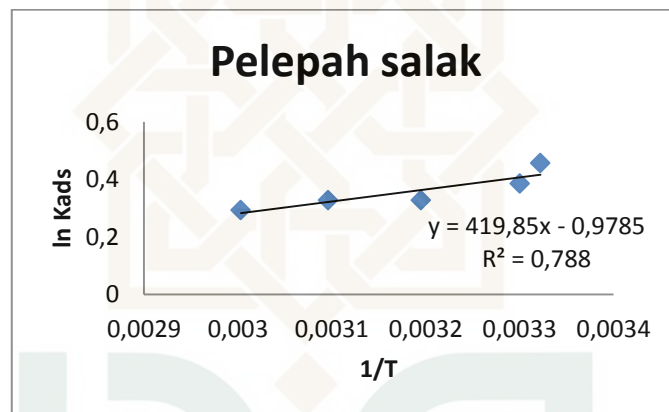
$$K_F = 10^{0,0712} \text{ mg/g}$$

$$K_F = 1,178 \text{ mg/g}$$

Lampiran 5. Perhitungan Pada Penentuan Termodinamika Adsorpsi

Tabel 6. Penentuan termodinamika adsorpsi pada adsorben Pelepah salak

Suhu (°C)	Waktu (menit)	Co (mg/L)	Ce (mg/L)	Co-Ce (mg/g)	Qe (mg/g)	T (K)	1/T (K ⁻¹)	Kads	Ln Kads
28	60	27,086	6,498	20,588	4,118	301	0,00332	1,578	0,456
30	60	27,086	6,152	20,934	4,187	303	0,00330	1,469	0,385
40	60	27,086	5,885	21,201	4,240	313	0,00319	1,388	0,328
50	60	27,086	5,885	21,201	4,240	323	0,00310	1,388	0,328
60	60	27,086	5,727	21,359	4,272	333	0,00300	1,341	0,293



Gambar 7. Grafik termodinamika adsorpsi pada Pelepah salak

$$y = 419,85x - 0,9785, R^2 = 0,788$$

$$\ln K_{ads} = \frac{\Delta S^\circ}{R} - \frac{\Delta H^\circ}{RT}$$

$$\frac{\Delta S^\circ}{R} = -0,9785$$

$$\Delta S^\circ = -0,9785 \times 8,314 \text{ J/mol.K}$$

$$\Delta S^\circ = -8,135 \text{ J.K/mol}$$

$$\Delta S^\circ = -0,008 \text{ kJ.K/mol}$$

$$-\frac{\Delta H^\circ}{R} = 419,85$$

$$-\Delta H^\circ = 419,85 \times R$$

$$-\Delta H^{\circ} = 419,85 \times 8,314 \text{ J/mol.K}$$

$$-\Delta H^{\circ} = 3490,63 \text{ J/mol}$$

$$-\Delta H^{\circ} = 3,49 \text{ kJ/mol}$$

$$\Delta H^{\circ} = -3,49 \text{ kJ/mol}$$

$$\Delta G^{\circ} = \Delta H^{\circ} - T \Delta S^{\circ}$$

$$(301 \text{ K}) \Delta G = -3490,63 - (301 \times -8,135)$$

$$= -1041,99 \text{ J/mol}$$

$$= -1,041 \text{ kJ/mol}$$

$$(303 \text{ K}) \Delta G = -3490,63 - (303 \times -8,135)$$

$$= -1025,72 \text{ J/mol}$$

$$= -1,025 \text{ kJ/mol}$$

$$(313 \text{ K}) \Delta G = -3490,63 - (313 \times -8,135)$$

$$= -944,37 \text{ J/mol}$$

$$= -0,944 \text{ kJ/mol}$$

$$(323 \text{ K}) \Delta G = -3490,63 - (323 \times -8,135)$$

$$= -863,02 \text{ J/mol}$$

$$= -0,863 \text{ kJ/mol}$$

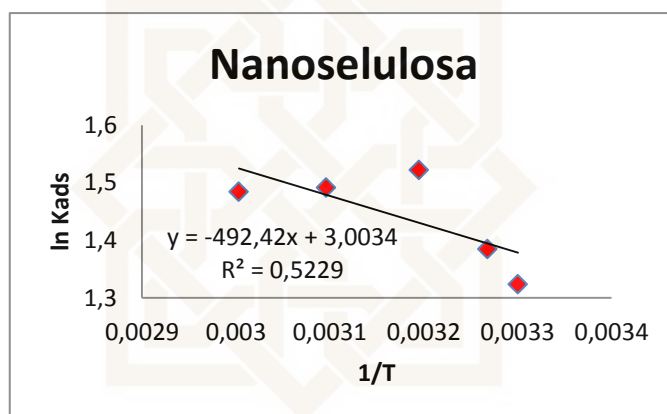
$$(333 \text{ K}) \Delta G = -3490,63 - (333 \times -8,135)$$

$$= -781,67 \text{ J/mol}$$

$$= -0,781 \text{ kJ/mol}$$

Tabel 7. Penentuan termodinamika adsorpsi pada adsorben Nanoselulosa

Suhu (°C)	Waktu (menit)	Co (mg/L)	Ce (mg/L)	Co-Ce (mg/g)	Qe (mg/g)	T (K)	1/T (K-1)	Kads	ln Kads
28	60	27,086	11,617	15,469	3,094	301	0,00332	1.511	0.412
30	60	27,086	12,028	15,058	3,012	303	0,00330	1.773	0.572
40	60	27,086	12,952	14,134	2,827	313	0,00319	1.695	0.528
50	60	27,086	12,747	14,339	2,868	323	0,00310	1.803	0.589
60	60	27,086	12,696	14,390	2,878	333	0,00300	1.876	0.629



Gambar 11. Grafik termodinamika adsorpsi pada Nanoselulosa

$$y = -492,42x + 3,0034, R^2 = 0,5229$$

$$\ln K_{ads} = \frac{\Delta S^\circ}{R} - \frac{\Delta H^\circ}{RT}$$

$$\frac{\Delta S^\circ}{R} = 3,0034$$

$$\Delta S^\circ = 3,0034 \times R$$

$$\Delta S^\circ = 3,0034 \times 8,314 \text{ J/mol.K}$$

$$\Delta S^\circ = 24,97 \text{ J.K/mol}$$

$$\Delta S^\circ = 0,024 \text{ kJ.K/mol}$$

$$-\frac{\Delta H^\circ}{R} = -492,42$$

$$-\Delta H^\circ = -492,42 \times R$$

$$-\Delta H^\circ = -492,42 \times 8,314 \text{ J/mol.K}$$

$$-\Delta H^\circ = -4093,98 \text{ J/mol}$$

$$-\Delta H^\circ = -4,093 \text{ kJ/mol}$$

$$\Delta H^\circ = 4,093 \text{ kJ/mol}$$

$$\Delta G^\circ = \Delta H^\circ - T \Delta S^\circ$$

$$(301 \text{ K}) \Delta G = 4093,98 - (301 \times 24,97)$$

$$= -3421,99 \text{ J/mol}$$

$$= -3,422 \text{ kJ/mol}$$

$$(303 \text{ K}) \Delta G = 4093,98 - (303 \times 24,97)$$

$$= -3471,93 \text{ J/mol}$$

$$= -3,472 \text{ kJ/mol}$$

$$(313 \text{ K}) \Delta G = 4093,98 - (313 \times 24,97)$$

$$= -3721,63 \text{ J/mol}$$

$$= -3,721 \text{ kJ/mol}$$

$$(323 \text{ K}) \Delta G = 4093,98 - (323 \times 24,97)$$

$$= -3971,33 \text{ J/mol}$$

$$= -3,971 \text{ kJ/mol}$$

$$(333 \text{ K}) \Delta G = 4093,98 - (333 \times 24,97)$$

$$= -4221,03 \text{ J/mol}$$

$$= -4,221 \text{ kJ/mol}$$