

**KAJIAN KINETIKA DAN TERMODINAMIKA ADSORPSI ION
LOGAM Pb(II) dan Cu(II) PADA KARBON AKTIF SEKAM
PADI YANG DIIRADIASI DENGAN GELOMBANG
ULTRASONIK**

**KINETICS AND THERMODYNAMICS STUDY OF Pb(II) AND
Cu(II) IONS ADSORPTION ON RICE HUSK BASED
ACTIVATED CARBON UNDER SONICATION.**

SANTI



**PROGRAM PASCASARJANA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR
2013**

KAJIAN KINETIKA DAN TERMODINAMIKA ADSORPSI ION
LOGAM Pb(II) dan Cu(II) PADA KARBON AKTIF SEKAM PADI
YANG DIIRADIASI DENGAN GELOMBANG ULTRASONIK

Tesis
Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar Magister

Program Studi
Kimia

Disusun dan diajukan oleh

SANTI

kepada

PROGRAM PASCASARJANA
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR
2013

TESIS

KAJIAN KINETIKA DAN TERMODINAMIKA ADSORPSI ION LOGAM Pb(II) dan Cu(II) PADA KARBON AKTIF SEKAM PADI YANG DIIRADIASI DENGAN GELOMBANG ULTRASONIK

Disusun dan diajukan oleh

SANTI

Nomor Pokok : P 1100211403

Menyetujui
Komisi Penasihat,

Dr. Muhammad Zakir, M. Si
Ketua

Dr. Indah Raya, M.Si.
Anggota

Ketua Program Studi Kimia

Dr. Paulina Taba, M.Phill

PERNYATAAN KEASLIAN TESIS

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : SANTI
Nomor Pokok : P 1100211403
Program Studi : Kimia

Menyatakan dengan sebenarnya bahwa tesis yang saya tulis ini benar-benar hasil karya saya sendiri, bukan merupakan pengambil-alihan tulisan atau pemikiran orang lain. Apabila di kemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan sebagian atau keseluruhan tesis ini hasil karya orang lain, saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Makassar, 25 Mei 2013
Yang menyatakan,

SANTI

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah Rabbil Alamin.

Segala puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah, hanya atas karunia dan rahmat-Nya penulis dapat menyelesaikan tesis ini dengan judul **KAJIAN KINETIKA DAN TERMODINAMIKA ADSORPSI ION LOGAM Pb(II) dan Cu(II) PADA KARBON AKTIF SEKAM PADI YANG DIIRADIASI DENGAN GELOMBANG ULTRASONIK** Dalam tesis ini, dibahas mengenai pemanfaatan gelombang ultrasonik untuk menyerap logam Pb(II) dan Cu(II) pada karbon aktif sekam padi, yang penyusunannya berdasarkan atas hasil penelitian dan studi literatur.

Penulis menyadari bahwa terlaksananya tesis ini tidak terlepas dari bantuan dan dukungan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, dengan segala kerendahan dan ketulusan hati penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Prof. Dr. Ir. Mursalim, M.Sc. selaku Direktur Program Pascasarjana Universitas Hasanuddin.
2. Dr. Muhammad Zakir, M.Si selaku ketua komisi penasihat yang telah mencurahkan seluruh perhatian, bimbingan dan motivasi selama proses penyusunan tesis.
3. Dr. Indah Raya, M.Si., selaku komisi penasihat yang telah mencurahkan seluruh perhatian, bimbingan dan motivasi selama proses penyusunan tesis.
4. Tim manajemen Direktorat Jendral Pendidikan Tinggi Republik Indonesia yang telah memberikan beasiswa bagi penulis.
5. Prof. Dr. M. Syahrul, M. Agr, Dr. Syarifuddin Liong, M.Si, Dr. Paulina Taba, M.Phill., selaku komisi penilai, terima kasih atas masukan yang telah diberikan demi penyempurnaan penulisan tesis.
6. Dr. Paulina Taba, M.Phill., selaku ketua program pascasarjana kimia terima kasih atas motivasi dan bantuannya.
7. Dekan F. MIPA, Ketua Jurusan Kimia F.MIPA dan seluruh dosen Kimia Pascasarjana UNHAS yang telah membagi ilmunya serta seluruh staff Fakultas MIPA UNHAS terima kasih atas bantuan dan kerjasamanya.
8. Kepala dan seluruh Staff Laboratorium Kimia Fisika, Kimia Anorganik, Kimia Analitik, Biokimia, Kimia Organik dan IPA terpadu FMIPA UNHAS, Laboratorium Kimia Analitik dan Riset F. Saintek UIN Alauddin serta Laboratorium Mikrostruktur F.MIPA UNM terima

kasih atas segala bantuan dan fasilitas yang telah diberikan selama proses penelitian.

9. Ibunda, ayahanda, suami serta anakku tersayang : Umar, Ahmad Ruqayyah dan Al-Fatih yang telah memberikan semangat, bantuan dan kasih yang tulus demi kesuksesan penulis.
10. Teman-teman seperjuangan: Mery, Sukarti, Hasty, Widi, Ischaedar, Desi, Loth, Yasser, Zulfian, Abdurrahman, Irham dan Oktavianus. Terima kasih atas bantuannya.

Semoga segala kebaikan yang telah diberikan kepada penulis mendapatkan pahala dari Allah Rabbul Alamin.

Akhir kata penulis mengharapkan tesis ini bisa bermanfaat dan penulis juga menyadari bahwa tesis ini masih jauh dari sempurna, olehnya itu saran dan kritikan yang membangun bagi penulis sangat diharapkan untuk penelitian dan penulisan yang lebih baik pada kesempatan mendatang.

Makassar, Mei 2013

Santi

ABSTRAK

SANTI. *Kajian Kinetika dan Termodinamika Adsorpsi Ion Logam Pb(II) dan Cu(II) Pada Karbon Aktif Sekam Padi Yang Diiradiasi Dengan Gelombang Ultrasonik* (dibimbing oleh **Muhammad Zakir** dan **Indah Raya**).

Penelitian ini bertujuan untuk menentukan pengaruh variasi waktu kontak, pH, suhu dan konsentrasi terhadap adsorpsi logam Pb(II) dan Cu(II) menggunakan karbon aktif sekam padi yang diiradiasi dengan gelombang ultrasonik dan tanpa iradiasi. Menentukan kapasitas adsorpsi logam Pb(II) dan Cu(II) menggunakan karbon aktif sekam padi yang diiradiasi dengan gelombang ultrasonik. Menentukan parameter kinetik (orde reaksi dan nilai k) dan parameter termodinamika (E_a , ΔG , ΔH , ΔS) untuk adsorpsi logam Pb(II) dan Cu(II) menggunakan karbon aktif sekam padi yang diiradiasi dengan gelombang ultrasonik.

Metode analisis yang digunakan pada penelitian ini adalah spektrofotometer infra merah (FT-IR), *scanning electron microscopy* (SEM), spektrofotometer serapan atom (SSA), persamaan analisis kinetika reaksi orde satu semu dan orde dua semu, persamaan analisis Langmuir dan Freundlich, persamaan analisis Langmuir-Hinshelwood dan termodinamika.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa kajian pengaruh waktu, pH, suhu, konsentrasi, analisis spektra infra merah dan energi adsorpsi dapat dinyatakan bahwa adsorpsi logam Pb(II) dan Cu(II) oleh karbon aktif sekam padi adalah adsorpsi fisika. Adsorpsi logam Pb(II) dan Cu(II) sesuai dengan model isoterm adsorpsi Langmuir dengan kapasitas adsorpsi logam Pb(II) dengan ultrasonik sebesar 16,66667 mg/g dan tanpa ultrasonik sebesar 9,80392 mg/g dan logam Cu(II) dengan ultrasonik sebesar 7,0422 mg/g dan tanpa ultrasonik sebesar 1,0417 mg/g. Kinetika reaksi logam Pb(II) dan Cu(II) sesuai dengan orde kedua semu dengan nilai k untuk logam Pb(II) sebesar $k_2 = 0,0472 \text{ g.mg}^{-1}.\text{menit}^{-1}$ dan nilai k untuk logam Cu(II) sebesar $k_2 = 0,1391 \text{ g.mg}^{-1}.\text{menit}^{-1}$. Parameter termodinamika untuk logam Pb(II) adalah $\Delta G = -2.92837 \text{ kJ/mol}$, $\Delta H = -11.1075 \text{ kJ/mol}$, $\Delta S = -0.02613 \text{ kJ/mol}$, $E_a = 0.802135 \text{ kJ/mol}$, Parameter termodinamika untuk logam Cu(II) adalah $\Delta G = -5.20996 \text{ kJ/mol}$, $\Delta H = 51.2226 \text{ kJ/mol}$, $\Delta S = 0.180296 \text{ kJ/mol}$, $E_a = -16.7278 \text{ kJ/mol}$.

Kata kunci : kinetika, termodinamika, adsorpsi, ultrasonik, logam Pb(II) dan Cu(II), karbon aktif sekam padi.

ABSTRACT

SANTI, *Kinetics and Thermodynamics Study Of Pb(II) and Cu(II) Ions Adsorption On Rice Husk Based Activated Carbon Under Sonication.*
(Supervised by **Muhammad Zakir dan Indah Raya**)

This research aimed to determine (1) the effects of the contact time variations, pH, temperatures, and concentration on the Pb(II) and Cu(II) metal adsorption using the active carbons of the rice husk irradiated by the ultrasonic waves and not irradiated; (2) the adsorption capacity of Pb(II) and Cu(II) metal using the active carbons of the rice husk irradiated by the ultrasonic waves; (3) the kinetic (reaction order and the value of k) and thermodynamic parameters (E_a , ΔG , ΔH , ΔS) for the adsorption of Pb(II) and Cu(II) using the active carbons of the rice husk irradiated by the ultrasonic waves.

The method of analysis used in this research was the infra-red spectrophotometer (FT-IR), *the scanning electron microscopy* (SEM), the atomic absorption spectrophotometer (AAS), the equation analysis of the pseudo first order reaction kinetics and the pseudo second order reaction kinetics, the equation analysis of Langmuir and Freundlich, the equation analysis of Langmuir-Hinshelwood and the thermodynamics.

The research results indicated that there had been effects of the time, pH, temperature, concentration, infrared spectra analysis, adsorption energy on the active carbons of the rice husk irradiated by the ultrasonic waves. That the adsorption of the Pb(II) and Cu(II) metal by the active carbons of the rice husk was a physical adsorption. The adsorption of the Pb(II) and Cu(II) metal was in line with the adsorption isotherm model of Langmuir: the adsorption capacity of Pb(II) metal irradiated by the ultrasonic was 16.66667 mg/g and not irradiated by the ultrasonic was 9.80392 mg/g, while the Cu(II) metal by the ultrasonic was 7.0422 mg/g and not irradiated by the ultrasonic was 1.0417 mg/g. The kinetic reaction of the Pb(II) and Cu(II) was in agreement with the pseudo second order with the k value for the Pb(II) was $k_2 = 0.0472 \text{ g.mg}^{-1}.\text{minute}^{-1}$ and the k value for Cu(II) metal was $k_2 = 0.1391 \text{ g.mg}^{-1}.\text{minute}^{-1}$. The thermodynamic Parameters for Pb(II) metal were $\Delta G = -2.92837 \text{ kJ/mol}$, $\Delta H = -11.1075 \text{ kJ/mol}$, $\Delta S = -0.02613 \text{ kJ/mol}$, $E_a = 0.802135 \text{ kJ/mol}$, The thermodynamic parameters for Cu(II) were $\Delta G = -5.20996 \text{ kJ/mol}$, $\Delta H = 51.2226 \text{ kJ/mol}$, $\Delta S = 0.180296 \text{ kJ/mol}$, $E_a = -16.7278 \text{ kJ/mol}$.

Key words: kinetics, thermodynamics, adsorption, ultrasonic, Pb(II) and Cu(II), rice husk activated carbon.

DAFTAR ISI

Halaman

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGESAHAN.....	iii
KATA PENGANTAR.....	v
ABSTRAK.....	viii
DAFTAR ISI	x
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR LAMPIRAN.....	xv
DAFTAR ARTI LAMBANG DAN SINGKATAN.....	xvi
BAB I.....	P
ENDAHULUAN	1
A.....	L
atar Belakang.....	1
B.....	R
umusan Masalah	5
C.	T
ujian Penelitian	6
D.	M
manfaat Penelitian	6

BAB II.....	T
INJAUAN PUSTAKA.....	8
A.....	S
sekam Padi.....	8
B.....	K
arboN Aktif	9
C.....	L
ogam Timbal	13
D.....	L
ogam Tembaga.....	13
E.....	A
dsorpsi	16
F.....	P
engukuran Kadar Abu Dari Sekam Padi.....	32
G.....	S
onokimia (Sonochemistry).....	32
H.....	K
erangka Pemikiran.....	34
I.....	H
ipotesis	35
BAB III.....	M
ETODOLOGI PENELITIAN.....	37
A. Tempat Penelitian	37

B. Bahan dan Alat Penelitian	37
C, Prosedur Kerja.....	38
D. Analisa Data	45
BAB IV. PEMBAHASAN.....	48
A. Karakterisasi karbon aktif dari sekam padi.....	48
B. Interaksi antara logam Pb(II) dan Cu(II) terhadap karbon aktif dengan iradiasi dan tanpa iradiasi gelombang ultrasonik.....	58
BAB IV. KESIMPULAN DAN SARAN.....	79
A. Kesimpulan.....	79
B. Saran.....	80
DAFTAR PUSTAKA.....	81
LAMPIRAN.....	85

DAFTAR TABEL

Nomor	Halaman
1..... komposisi sekam padi	K 9
2. Hasil pengukuran kadar abu sekam padi setelah pembakaran pada suhu 750°C selama 4 jam	4 8

.....	
3. Perbandingan spektra infra merah karbon aktif komersial dengan karbon aktif sekam padi	5 0
.....	
4. Perbandingan spektra infra merah karbon aktif sekam padi sebelum adsorpsi dan setelah adsorpsi ion Pb^{2+} 250 ppm, 50 menit.	
.....	5
5. Perbandingan spektra infra merah karbon aktif sekam padi sebelum adsorpsi dan setelah adsorpsi ion Cu^{2+} 250 ppm, 30 menit.....	2
.....	
6. Parameter adsorpsi logam $Pb(II)$ dan $Cu(II)$ oleh karbon aktif sekam padi yang dihitung dengan menggunakan isoterm Langmuir dan Freundlich.....	5 4
7. Nilai parameter Langmuir-Hinshelwood ion logam $Pb(II)$ dan $Cu(II)$	7 4
.....	
8. Nilai Energi bebas Gibbs (ΔG) logam $Pb(II)$ dan $Cu(II)$	7 6
9. Nilai entalpi (ΔH) untuk ion logam $Pb(II)$ dan $Cu(II)$	
.....	7
10. Nilai perubahan entropi (ΔS) adsorpsi $Pb(II)$ dan $Cu(II)$	7
.....	
11. Nilai energi aktivasi (E_a) untuk ion logam $Pb(II)$ dan $Cu(II)$	7 7
	7
	8
	7
	8

DAFTAR GAMBAR

Halaman

Nomor

1.	Karbon aktif menyerap senyawa kimia dan gas	11
2.	Hubungan atom-atom Si, O dan Na pada $(\text{Na}_2\text{O})_m(\text{SiO}_2)_n$	12
3.	Gaya yang bekerja pada adsorpsi dalam larutan biner	19
4.	Pengaruh iradiasi ultrasonik pada morfologi permukaan dan ukuran Partikel bubuk Ni	34
5.	Alur kerangka pemikiran penelitian	35
6.	Spektra infra merah karbon aktif komersial dengan karbon aktif sekam padi	50
7.	Spektra infra merah sebelum dan sesudah adsorpsi logam Pb(II) dengan gelombang ultrasonic	52
8.	Spektra infra merah sebelum dan sesudah adsorpsi logam Cu(II) dengan gelombang ultrasonik.....	53
9.	Hasil SEM (a) karbon aktif sekam padi (b) karbon aktif – Pb dan (c) karbon aktif – Cu	55
10.	Spektrum kandungan unsur yang terdapat pada karbon aktif sekam padi	56
11.	Spektrum kandungan unsur yang terdapat pada karbon aktif setelah diinteraksikan dengan logam Pb(II) dengan bantuan iradiasi gelombang ultrasonic	57
12.	Spektrum kandungan unsur yang terdapat pada karbon aktif setelah diinteraksikan dengan logam Cu(II) dengan bantuan iradiasi gelombang ultrasonik.....	57
13.	Grafik hubungan antara variasi waktu kontak dengan jumlah logam Pb(II) yang diadsorpsi oleh karbon aktif yang diiradiasi dengan gelombang ultrasonik dan tanpa iradiasi.....	59
14.	Grafik hubungan antara variasi waktu adsorpsi logam Cu(II) dengan kapasitas adsorpsi karbon aktif yang diiradiasi dengan gelombang ultrasonik dan tanpa iradiasi	59
		61

15. Grafik kinetika orde satu semu adsorpsi logam Pb(II)	62
16. Grafik kinetika orde kedua semu adsorpsi logam Pb(II)	63
17. Grafik kinetika orde satu semu adsorpsi logam Cu(II)	63
18. Grafik kinetika orde kedua semu adsorpsi logam Cu(II),.....	64
19. Grafik pengaruh pH pada adsorpsi logam Pb(II)	66
20. Grafik pengaruh pH pada adsorpsi logam Cu(II)	67
21. Grafik pengaruh suhu terhadap adsorpsi logam Pb(II)	68
22. Grafik pengaruh suhu terhadap adsorpsi logam Cu(II)	69
23. Grafik pengaruh konsentrasi terhadap adsorpsi logam Pb(II) ..	70
24. Grafik pengaruh konsentrasi terhadap adsorpsi logam Cu(II) ..	70
25. Isoterm Langmuir adsorpsi logam Pb(II) yang diiradiasi dengan Gelombang ultrasonik	72
26. Isoterm Freundlich adsorpsi logam Pb(II) yang diiradiasi dengan gelombang ultrasonic	72
27. Isoterm Langmuir adsorpsi logam Cu(II) yang diiradiasi dengan gelombang ultrasonic	73
28. Isoterm Freundlich adsorpsi logam Cu(II) yang diiradiasi dengan gelombang ultrasonic	73

DAFTAR LAMPIRAN

Halaman

Nomor

1.	Skema kerja pengukuran kadar abu sekam padi	85
2.	Skema kerja pembuatan karbon dari sekam padi	85
3.	Skema kerja aktivasi karbon dengan menggunakan larutan aktivator $ZnCl_2$ 10 %.....	86
4.	Skema kerja Identifikasi gugus fungsional karbon aktif	86
5.	Skema kerja Analisis permukaan karbon aktif dengan menggunakan Scanning Electron Microscopy (SEM)	86
6.	Skema kerja proses adsorpsi Penentuan waktu penyerapan optimum pada adsorpsi logam Pb(II) dan Cu(II) dengan iradiasi gelombang ultrasonik	86
7.	Skema kerja penentuan pH optimum adsorpsi logam Pb(II) dan Cu(II) dengan iradiasi gelombang ultrasonik	87
8.	Skema kerja penentuan suhu optimum adsorpsi logam Pb(II) dan Cu(II) dengan iradiasi gelombang ultrasonik	87
9.	Skema kerja penentuan konsentrasi optimum adsorpsi logam Pb(II) dan Cu(II) dengan iradiasi gelombang ultrasonik.....	88
10.	Skema kerja penentuan waktu penyerapan optimum adsorpsi logam Pb (II) dan Cu (II) tanpa iradiasi gelombang ultrasonik .	88
11.	Skema kerja penentuan pH optimum adsorpsi logam Pb(II) dan Cu(II) tanpa iradiasi gelombang ultrasonik.....	89
12.	Skema kerja penentuan suhu optimum adsorpsi logam Pb(II) dan Cu(II) tanpa iradiasi gelombang ultrasonik.....	89
13.	Skema kerja penentuan konsentrasi optimum adsorpsi logam Pb(II) dan Cu(II) tanpa iradiasi gelombang ultrasonik.....	90
14.	Skema kerja untuk kajian termodinamika logam Pb(II) dan Cu(II) yang diiradiasi dengan gelombang ultrasonik	90
15.	Data pengaruh waktu interaksi antara logam Pb (II) dengan	

	karbon aktif sekam padi yang diiradiasi dengan gelombang ultrasonik dan tanpa iradiasi	91
16.	Data pengaruh waktu interaksi antara logam Cu(II) dengan karbon aktif sekam padi yang diiradiasi dengan gelombang ultrasonik dan tanpa iradiasi	92
17.	Data kinetika reaksi orde satu semu dan orde kedua semu antara logam Pb(II) dengan karbon aktif sekam padi yang diiradiasi dengan gelombang ultrasonik	93
18.	Data kinetika reaksi orde satu semu dan orde kedua semu antara logam Cu(II) dengan karbon aktif sekam padi yang diiradiasi dengan gelombang ultrasonic.....	94
19.	Data pengaruh pH interaksi antara logam Pb(II) dengan karbon aktif sekam padi yang diiradiasi dengan gelombang ultrasonik dan tanpa iradiasi	95
20.	Data pengaruh pH interaksi antara logam Cu(II) dengan karbon aktif sekam padi yang diiradiasi dengan gelombang ultrasonik dan tanpa iradiasi	95
21.	Data pengaruh suhu interaksi antara logam Pb(II) dengan karbon aktif sekam padi yang diiradiasi dengan gelombang ultrasonik dan tanpa iradiasi	96
22.	Data pengaruh suhu interaksi antara logam Cu(II) dengan karbon aktif sekam padi yang diiradiasi dengan gelombang ultrasonik dan tanpa iradiasi	96
23.	Data pengaruh konsentrasi interaksi antara logam Pb(II) dengan karbon aktif sekam padi yang diiradiasi dengan gelombang ultrasonik dan tanpa iradiasi	97
24.	Data pengaruh konsentrasi interaksi antara logam Cu(II) dengan karbon aktif sekam padi yang diiradiasi dengan gelombang ultrasonik dan tanpa iradiasi.....	97
25.	Data adsorpsi isotherm Langmuir dan Freundlich interaksi antara logam Pb(II) dengan karbon aktif sekam padi yang diiradiasi dengan gelombang ultrasonik	98
26.	Data adsorpsi isotherm Langmuir dan Freundlich interaksi antara logam Cu(II) dengan karbon aktif sekam padi yang diiradiasi dengan gelombang ultrasonik	99

27. Data dan grafik isothermal Langmuir-Hinshelwood Pb (koreksi Santoso) dan termodinamika interaksi antara logam Pb(II) dengan karbon aktif sekam padi yang diiradiasi dengan gelombang ultrasonik	100
28. Data dan grafik isothermal Langmuir-Hinshelwood (koreksi Santoso) dan termodinamika interaksi antara logam Cu(II) dengan karbon aktif sekam padi yang diiradiasi dengan gelombang ultrasonik	103

DAFTAR ARTI LAMBANG DAN SINGKATAN

Lambang/singkatan	Arti dan keterangan
θ	theta
et al.	et alii, dan kawan-kawan
ΔG	perubahan energi bebas Gibbs
ΔH	perubahan entalpi
ΔS	perubahan entropi
E_a	energi aktivasi
pH	power of hydrogen
ppm	part per million, bagian per juta
R	koefisien korelasi
SEM	Scanning Electron Microscopy
SSA	Spektrofotometer Serapan Atom
FT-IR	Fourier Transform Infra Red
rpm	rotasi per menit

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Timbal (Pb) dan persenyawaannya dapat berada di dalam badan perairan secara alamiah dan sebagai dampak dari aktivitas manusia. Pb yang masuk ke dalam perairan sebagai dampak aktivitas kehidupan manusia diantaranya adalah air buangan dari pertambangan bijih timah hitam, buangan sisa industri baterai dan bahan bakar angkutan air. Badan perairan yang memiliki jumlah Pb melebihi konsentrasi yang semestinya, dapat mengakibatkan kematian bagi biota perairan (Palar, 2004). Logam timbal sulit larut dalam air tetapi akan larut dalam asam nitrat dan asam sulfat pekat. Pada sistem asam basa keras lunak, timbal dianggap bersifat menengah. Ia memiliki kemampuan untuk mengikat atom donor yang berbeda (misalnya, O, N, S, dan P) (Nordberg G. F dkk., 2005).

Logam tembaga (Cu) secara alamiah dapat masuk ke dalam suatu tatanan lingkungan sebagai akibat dari berbagai peristiwa alam. Unsur ini dapat bersumber dari peristiwa pengikisan (erosi) dari batuan mineral. Logam Cu masuk ke lingkungan melalui aktivitas manusia contohnya buangan industri yang memakai Cu dalam proses produksinya, industri galangan kapal, industri pengelolaan kayu, buangan rumah tangga, sebagai bahan untuk kabel listrik, kumparan dinamo, sebagai paduan logam dalam kuningan dan perunggu. Tembaga merupakan elemen esensial yang merupakan bagian penting dari beberapa enzim (misalnya, ferroxidases, sitokrom oksidase c). Apabila konsentrasi tembaga tinggi

akan bersifat racun. Tembaga di dalam tubuh biasanya ditemukan di bagian hati, otak, usus, jantung, dan ginjal (Nordberg G. F.dkk., 2005).

Air kotor dari aktivitas manusia yang tergenang dapat menjadi jernih dengan adanya limbah sekam padi di bagian bawah air tersebut, sedangkan air kotor yang lain tidak jernih karena tidak adanya sekam padi. Berdasarkan fenomena tersebut kemungkinan sekam padi dapat dimanfaatkan untuk menyerap logam berat. Sekam padi adalah salah satu limbah pertanian yang belum banyak dimanfaatkan. Sekam dikategorikan sebagai biomassa yang mengandung air, protein, lemak, karbohidrat, serat yang terdapat karbon, oksigen, nitrogen, silika dan hidrogen menurut ihwan (2008). Sekam yang dibakar pada suhu 400°C menghasilkan karbon sekitar 1,88 % dan silika sekitar 79,27 %, karena fakta itu sekam padi sudah mulai banyak dimanfaatkan sebagai adsorben untuk mengadsorpsi logam berat Pb, 2,4 diklorofenol, dan logam Cr(VI) (Winaya, 2008).

Proses adsorpsi diharapkan dapat mengambil ion-ion logam berat dari perairan. Teknik ini lebih menguntungkan daripada teknik yang lain dilihat dari segi biaya yang tidak begitu besar serta tidak adanya efek samping zat beracun (Blais dkk, 2000). Metode adsorpsi umumnya berdasarkan interaksi ion logam dengan gugus fungsional yang ada pada permukaan adsorben melalui interaksi gaya van der waals, ikatan hidrogen, pertukaran ion atau pembentukan kompleks dan biasanya

terjadi pada permukaan padatan yang kaya gugus fungsional seperti –OH, -NH, -SH dan -COOH.

Penelitian telah dilakukan pada berbagai adsorben misalnya gambut, kulit kayu pinus, kulit pisang, dedak padi, kedelai dan biji kapas, kulit kacang, cangkang kemiri, sekam padi, serbuk gergaji, serat wol, kulit jeruk, umbi kunyit, cangkang kakao (Milenkovic, dkk., 2009). Kelemahan dari biosorben adalah kapasitas adsorpsinya yang relatif rendah. Kapasitas adsorpsi dapat ditingkatkan dengan membuat karbon aktif dengan menggunakan aktivator $ZnCl_2$ dan pemanfaatan gelombang ultrasonik yang menghasilkan energi kimia yang tinggi. Hal ini terjadi melalui proses kavitas akustik yaitu proses pembentukan, pertumbuhan dan pemecahan gelembung dalam cairan. Selama pemecahan gelembung, pemanasan intens terjadi dengan suhu sekitar $5000^{\circ}C$, tekanan sekitar 500 atmosfer, dan tahan selama beberapa mikrodetik. Iradiasi ultrasonik berbeda dari sumber energi seperti panas, cahaya, atau radiasi pengion. Efek kimia dari ultrasonik tidak berasal dari interaksi langsung dengan spesies molekul melainkan berasal dari kavitas akustik (Suslick, K. S., 1990). Gelembung kejut dari kavitas akustik dalam bubur cair-padat menghasilkan tumbukan interpartikel yang berkecepatan tinggi. Efek kavitas akustik ini memiliki energi yang cukup untuk meleburkan logam yang ada pada sistem itu (McNamara III dkk, 1999). Dalam sistem larutan (cair-padat), gelombang ultrasonik menyebabkan efek mekanik pada reaksi, misalnya memperbesar luas permukaan melalui

pembentukan celah mikro pada permukaan padat, mempercepat pelarutan, ataupun meningkatkan laju transfer massa dan pembersihan permukaan partikel padat (Suslick dkk, 1999).

Penelitian tentang pemanfaatan sekam padi sebagai karbon aktif dengan variasi waktu, , suhu dan konsentrasi telah banyak dilakukan diantaranya untuk mengadsorpsi fenol dan 2- klorofenol oleh Ansar (2012), adsorpsi metilen blue dan eosin dilakukan oleh Arnawaty (2012). Penelitian kinetika adsorpsi metilen blue pada berbagai karbon aktif termasuk sekam padi dengan variasi waktu dan konsentrasi dilakukan oleh Kannan dkk (2001), karbon aktif dari serbuk gergaji dan sekam padi telah dimanfaatkan oleh Malik (2002) untuk adsorpsi zat warna pada berbagai variasi waktu, pH dan konsentrasi. Penelitian adsorpsi Cu(II) yang menggunakan karbon aktif dari kulit kemiri dengan iradiasi ultrasonik telah dilakukan (Milenkovic, dkk., 2009).

Pada proses adsorpsi mencakup dua hal penting yaitu kinetika adsorpsi dan termodinamika adsorpsi. Kinetika adsorpsi meninjau proses adsorpsi berdasarkan laju adsorpsi, sedangkan pada termodinamika adsorpsi ditinjau tentang energi yang terlibat dalam proses adsorpsi (Purwaningsih, 2009). Pemahaman tentang mekanisme reaksi sonokimia dan kinetika juga sangat penting dalam rangka untuk mencapai efisiensi reaksi yang lebih tinggi.

Berdasarkan uraian di atas penelitian tentang kinetika dan termodinamika adsorpsi logam Pb(II) dan Cu(II) menggunakan karbon

aktif sekam padi yang diiradiasi dengan gelombang ultrasonik dilakukan. Energi yang ditimbulkan akibat iradiasi gelombang ultrasonik akan dimanfaatkan untuk meningkatkan kapasitas adsorpsi karbon aktif sekam padi dalam menyerap logam berat timbal dan tembaga dari dalam larutan. Kajian kinetika dan termodinamika dari adsorpsi logam timbal dan tembaga dengan iradiasi gelombang ultrasonik serta pengaruh variasi waktu yang dapat menentukan model kinetika reaksi yang terjadi, pengaruh pH yang penting karena perubahan pH dapat mempengaruhi muatan permukaan adsorben sehingga proses adsorpsi juga terpengaruh, suhu dapat mempengaruhi jumlah logam yang teradsorpsi dan variasi konsentrasi logam dapat ditentukan kapasitas adsorpsi.

B. Rumusan Masalah

Beberapa permasalahan dalam penelitian ini adalah :

1. Bagaimana pengaruh variasi waktu kontak, pH, suhu dan konsentrasi terhadap adsorpsi logam Pb dan Cu menggunakan karbon aktif sekam padi yang diiradiasi dengan gelombang ultrasonik dan tanpa iradiasi.
2. Berapa kapasitas adsorpsi logam Pb dan Cu menggunakan karbon aktif sekam padi yang diiradiasi dengan gelombang ultrasonik dan tanpa iradiasi.

3. Bagaimana kajian kinetika dan termodinamika adsorpsi logam Pb dan Cu menggunakan karbon aktif sekam padi yang diiradiasi dengan gelombang ultrasonik.

C. Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk :

1. Menentukan pengaruh variasi waktu kontak, pH, suhu dan konsentrasi terhadap adsorpsi logam Pb dan Cu menggunakan karbon aktif sekam padi yang diiradiasi dengan gelombang ultrasonik dan tanpa iradiasi.
2. Menentukan kapasitas adsorpsi logam Pb dan Cu menggunakan karbon aktif sekam padi yang diiradiasi dengan gelombang ultrasonik dan tanpa iradiasi.
3. Menentukan parameter kinetik (orde reaksi dan nilai k) dan parameter termodinamika (ΔG , ΔH , ΔS dan E_a) untuk adsorpsi logam Pb dan Cu menggunakan karbon aktif sekam padi yang diiradiasi dengan gelombang ultrasonik.

D. Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat antara lain :

1. Pengembangan ilmu pengetahuan dan teknologi terhadap metode adsorpsi karbon aktif sekam padi untuk mengurangi tingkat pencemaran logam berat.

2. Memberikan data karakteristik interaksi logam Pb dan Cu pada karbon aktif sekam padi yang diiradiasi dengan gelombang ultrasonik dan tanpa iradiasi.
3. Memberikan model kinetika dan termodinamika adsorpsi logam Pb dan Cu pada karbon aktif sekam padi yang diiradiasi dengan gelombang ultrasonik.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

A. Sekam padi

Sekam padi adalah suatu lapisan keras yang membungkus kariopsis gabah yang mempunyai panjang sekitar 8-10 mm dengan lebar 2-3 mm dan tebal 0,2 mm. Sekam padi merupakan limbah hasil pertanian tanaman padi yang tidak mahal dan belum dimanfaatkan secara maksimal. Angka Tetap (ATAP) produksi padi tahun 2010 sebanyak 4,38 juta ton Gabah Kering Giling (GKG), mengalami peningkatan sebesar 58,26 ribu ton GKG (naik 1,35 persen) bila dibandingkan dengan produksi padi pada tahun 2009 (BPS Sul-Sel, 2011). Gabah yang digiling menghasilkan 20-35 % sekam (Winaya, 2008), sebagian besar sekam tersebut hanya dibuang ke lingkungan dan hanya sebagian kecil yang digunakan untuk keperluan rumah tangga, misalnya untuk keperluan pembuatan abu gosok.

Sekam padi dikategorikan sebagai biomassa yang mengandung karbon dan silika sebagai komponen utamanya. Sekam yang dibakar pada suhu 400 °C menghasilkan karbon sekitar 1,88 % dan silika sekitar 79,27 %, karena fakta itu sekam padi sudah mulai banyak dimanfaatkan sebagai adsorben untuk mengadsorpsi logam berat Pb, 2,4 diklorofenol, dan logam Cr(VI) (Winaya, 2008).

Menurut Balai Penelitian Pasca Panen (BPPP) komposisi sekam padi disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Komposisi sekam padi (Suharno dan DTC-IPB dalam Ihwan, 2008)

Komponen	Kandungan (%)
Kadar Air	9,02
Protein Kasar	3,03
Lemak	1,18
Serat Kasar	35,68
Abu	17,71
Karbohidrat Kasar	33,71
Karbon (zat Arang)	1,33
Hidrogen	1,54
Oksigen	33,64
Silika (SiO ₂)	16,98

Penggunaan sekam padi semakin fleksibel diantaranya sebagai (1) bahan baku industri kimia, terutama kandungan zat kimia furfural; (2) bahan baku industri, bahan bangunan karena mengandung silika yang dapat digunakan sebagai campuran pembuatan semen *portland*, bahan isolasi, husk-board dan campuran industri batu bata; (3) sumber energi panas karena kadar selulosanya cukup tinggi sehingga dapat memberikan pembakaran yang merata dan stabil (Ihwan, 2008).

B. Karbon Aktif

Karbon aktif adalah arang yang diberi perlakuan khusus sehingga mempunyai luas permukaan pori yang sangat besar berkisar 300– 2000 m²/g. Peningkatan luas permukaan inilah yang menyebabkan karbon aktif mempunyai kemampuan besar dalam penyerapan logam dan polutan organik dalam larutan. Penelitian dengan sinar X memperlihatkan bahwa karbon aktif mempunyai bentuk amorf atau mikrokristalin yang

terdiri atas plat-plat datar dimana atom-atom C-nya tersusun dan terikat secara kovalen dalam bentuk cincin 6 karbon. (Haesler, 1951 dalam Ansar, 2012)

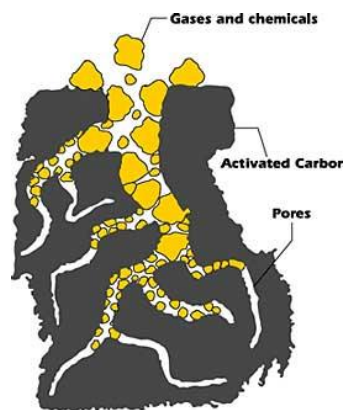
Pori-pori pada karbon aktif dapat dikelompokkan menjadi 3 golongan yaitu, makropori (diameter > 50 nm), mesopori (diameter $2 - 50$ nm), mikropori (diameter < 2 nm). Dari ketiga golongan tersebut, yang memegang peranan penting pada proses penyerapan adalah mikropori karena volume total lubang mikropori jauh lebih besar daripada volume total makropori dan mesopori (Do, 1998 dalam Ansar 2012).

Karbon aktif dapat dibuat dari bahan yang mengandung karbon baik organik maupun anorganik. Karbon aktif yang biasa beredar di pasaran berasal dari tempurung kelapa, kayu dan batubara. Karbon aktif juga dapat dibuat dari berbagai limbah pertanian seperti tempurung kemiri, kulit buah coklat dan kayu bakau (Edwin, 2005).

Proses pembuatan karbon aktif terdiri atas 3 tahap, yaitu tahap dehidrasi, tahap karbonisasi, tahap aktivasi. Tahap dehidrasi dilakukan dengan memanaskan bahan baku sampai suhu 105 °C dengan tujuan untuk menghilangkan kadar air. Tahap karbonisasi merupakan tahap lanjutan dari proses dehidrasi yaitu proses dekomposisi termal pada suhu $600 - 1100$ °C. Selama proses ini, unsur-unsur selain karbon seperti hidrogen dan oksigen dibebaskan dalam bentuk gas. Proses karbonisasi akan menghasilkan 3 komponen utama, yaitu karbon (arang), tar, dan gas (CO_2 , CO , CH_4 , H_2 , dan lain-lain). Tahap yang terakhir adalah tahap

aktivasi, aktivasi adalah suatu perubahan fisika dimana luas permukaan karbon menjadi lebih besar karena hidrokarbon yang menyumbat pori-pori terbebaskan.

Ada 2 cara untuk melakukan proses aktivasi karbon yaitu aktivasi secara fisika dan aktivasi kimia. Proses aktivasi fisika dilakukan dengan mengalirkan uap atau udara pada suhu 800 – 1000 °C sedangkan proses aktivasi secara kimia dilakukan dengan merendam bahan baku pada bahan kimia seperti H_3PO_4 , $ZnCl_2$, HCl , H_2SO_4 , $CaCl_2$, K_2S , $NaCl$ (Danarto, 2008) sehingga pengotor yang ada pada karbon aktif dapat dihilangkan seperti pada Gambar 1.



Gambar 1. Karbon aktif menyerap senyawa kimia dan gas (Jaworski, 2005)

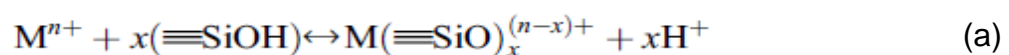
Pembakaran sekam padi pada suhu terkontrol dibawah 500 °C menghasilkan arang sebagai sumber silika dalam bentuk amorf dengan komponen utamanya adalah $(Na_2O)_m(SiO_2)_n$. Arang sekam padi amorf dengan rumus kimia $(Na_2O)_m(SiO_2)_n$ merupakan sejenis senyawa polimer dengan silika sebagai komponen utamanya yang tersusun atas satuan tetrahedron dengan atom Si sebagai atom pusat. Setiap atom Si dikelilingi

oleh empat atom O dan satu atom Na yang tidak terikat kuat pada strukturnya namun hanya sekedar melekat pada matriks polimernya (Hartini, 2008).

Hubungan antara atom-atom Si, O dan Na pada Natrium silika ditunjukkan pada Gambar 2.

Gambar 2. Hubungan atom-atom Si, O dan Na pada $(\text{Na}_2\text{O})_m(\text{SiO}_2)_n$ (Hartini, 2008)

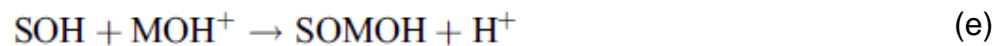
Reaksi pertukaran ion pada permukaan silika dilakukan melalui substitusi proton pada permukaan gugus silanol oleh ion logam dari larutan, sebagai berikut :



Dimana M^{n+} adalah ion logam dengan muatan n^+ ,
-SiOH= adalah gugus silanol pada permukaan SiO_2
 $x\text{H}^+$ adalah jumlah proton yang dilepaskan.

Mekanisme pertukaran-kation ini diharapkan pada adsorben yang mengandung banyak silika, karena tarik-menarik elektrostatik tidak mungkin antara permukaan adsorben bermuatan positif dan spesies ion

logam bermuatan positif maka kemungkinan mekanisme adsorpsinya adalah :



Dimana SO^- menunjukkan permukaan bermuatan negatif, SOH menunjukkan permukaan netral dan M menunjukkan ion logam. (Daifullah, 2003).

C. Logam Timbal

Timbal adalah suatu [unsur kimia](#) dalam golongan IV-A yang memiliki lambang Pb dan [nomor atom](#) 82 berat atom, 207,19. Lambangnya diambil dari [bahasa Latin](#) *Plumbum*. Logam ini berwarna kelabu kebiruan dan bertekstur lunak. Densitasnya $11,3 \text{ g/cm}^3$, titik leleh $327,5 \text{ }^\circ\text{C}$, dan titik didih $1740 \text{ }^\circ\text{C}$. Timbal (Pb) adalah logam berat yang terdapat secara alami di dalam kerak bumi. Keberadaan timbal bisa juga berasal dari hasil aktivitas manusia. Logam timbal sulit larut dalam air tetapi akan larut dalam asam nitrat dan asam sulfat pekat. Pada sistem asam basa keras lunak, timbal dianggap bersifat menengah. Ia memiliki kemampuan untuk mengikat atom donor yang berbeda (misalnya, O, N, S, dan P) (Nordberg

G. F dkk., 2005). Saat ini, penggunaan dominan dari timbal (71%) dalam baterai, terutama untuk kendaraan, tetapi juga untuk sistem listrik dan baterai cadangan industri. Kegunaan lain adalah sebagai pigmen (12%), amunisi (6%), dan terpal kabel (3%). Timbal juga digunakan dalam solder, paduan (kuningan dan perunggu), dan sebagai penstabil dalam polyvinyl chloride (PVC) (Nordberg G. F dkk., 2005).

Timbal telah digunakan secara luas dalam cat, baik untuk perlindungan korosi konstruksi baja dan produk (misalnya, jembatan, kapal, lokomotif) dan untuk rumah. Timbal juga sering digunakan dalam pipa air. Sumber lain skala besar paparan organotimbal yang ditambahkan ke bensin. Hal ini menyebabkan paparan timbal anorganik, terutama pada orang yang tinggal di daerah dengan lalu lintas yang padat. Juga, emisi industri, baik dari industri besar dan skala kecil dan produsen serta kegiatan daur ulang, dapat menyebabkan paparan pada populasi lingkungan, dan pekerja yang terpapar dapat membawa pulang paparan mereka ke keluarga dalam bentuk debu timbal dibawa dalam pakaian, rambut, atau pada kulit (Nordberg G. F dkk., 2005).

Efek racun dapat terjadi dalam saraf pusat dan sistem pembuluh darah (termasuk penghambatan sintesis heme, yang juga mempengaruhi sel-sel lainnya), ginjal, sistem endokrin, sistem kardiovaskular, sistem kekebalan tubuh, saluran pencernaan dan apabila timbal melewati plasenta dapat menyebabkan efek pada sistem saraf janin (Nordberg G. F dkk., 2005).

D. Logam Tembaga

Tembaga (Cu) dalam bentuk murni merupakan logam berwarna coklat kemerahan. Berat atom 63.54, nomor atom adalah 29, dan kepadatan adalah $8,94 \text{ g/cm}^3$. Titik leleh adalah $1.083 \text{ }^\circ\text{C}$ dengan titik didih $2.595 \text{ }^\circ\text{C}$. (Nordberg G. F dkk., 2005).

Penggunaan yang paling penting dari tembaga dalam kawat dan kabel untuk transmisi listrik. Berbagai aplikasi dalam industri elektronik, pipa air dan tabung, kapal dan kontainer, atap untuk bangunan. Senyawa tembaga yang digunakan dalam pengawet kayu, fungisida, sebagai pigmen dan agen antifouling di cat, sebagai aditif gizi ternak, dan aditif untuk pupuk. Tembaga merupakan elemen paduan yang penting, kuningan terbaik menjadi dikenal (tembaga-seng) dan perunggu (tembaga-timah) (Nordberg G. F dkk., 2005).

Tembaga merupakan elemen esensial. Tembaga merupakan bagian penting dari beberapa enzim (misalnya, ferroxidases, sitokrom oksidase c, superoksida dismutase, tirosinase, oksidase lysyl, dan hidroksilase dopamin beta). Penyerapan tergantung pada jumlah tertelan, bentuk kimia, dan komposisi komponen makanan lainnya seperti seng. Minum air dapat berkontribusi signifikan terhadap asupan tembaga harian karena meluasnya penggunaan tembaga pada pipa. Penyerapan diatur oleh mekanisme homeostatis dalam hati, dan ekskresi empedu meningkat ketika tembaga berlebihan. Apabila konsentrasi tembaga tinggi maka pada orang dewasa dan bayi baru lahir akan ditemukan di hati dan otak.

Ekskresi terutama melalui empedu, dan hanya beberapa persen dari tembaga yang diserap ditemukan dalam urin. Menelan sejumlah besar garam tembaga menyebabkan gangguan pencernaan. Dalam kasus yang parah, efek sistemik, terutama hemolisis, hati, dan kerusakan ginjal dapat terjadi (Nordberg G. F.dkk., 2005).

E. Adsorpsi

1. Definisi adsorpsi

Adsorpsi adalah suatu proses dimana molekul-molekul dari fasa gas atau cair terikat pada permukaan padatan atau cairan. Molekul-molekul yang terikat pada permukaan disebut adsorbat sedangkan substansi yang mengikat disebut adsorben. Definisi lain dari adsorpsi adalah akumulasi sejumlah molekul (senyawa, ion, maupun atom) yang terjadi pada batas antara dua fasa (Oscik, 1982). Adsorpsi dapat terjadi di antara dua fasa seperti antara fasa cair-padat, fasa padat-gas dan antara fasa gas-cair.

2. Adsorpsi fisika dan kimia

Berdasarkan interaksi antara adsorben dan adsorbat, maka adsorpsi dapat dibedakan menjadi adsorpsi fisika dan adsorpsi kimia (Oscik, 1982). Adsorpsi fisika melibatkan gaya van der Waals dan ikatan hidrogen. Pada adsorpsi fisika, molekul-molekul teradsorpsi pada permukaan adsorben dengan ikatan yang lemah. Adsorpsi ini bersifat reversibel sehingga molekul-molekul yang teradsorpsi mudah dilepaskan kembali dengan cara menurunkan tekanan gas atau konsentrasi zat terlarut. Adsorpsi fisika

dipengaruhi oleh polarisasi, tidak terjadi pemakaian bersama elektron antara adsorbat dengan permukaan, sehingga tidak ada perubahan yang berarti pada struktur elektronik adsorbat. Energi adsorpsi yang dihasilkan pada adsorpsi fisika < 40 kJ/mol. Entalpi proses ini tidak cukup untuk terjadinya pemutusan ikatan sehingga spesies yang teradsorpsi secara fisika umumnya tetap utuh.

Adsorpsi kimia berlangsung hanya dalam satu lapisan monomolekuler, dan mempunyai ikatan sedemikian kuat, sehingga spesies aslinya tidak dapat ditemukan lagi (Oscik, 1982). Pada adsorpsi kimia, ada ikatan kimia secara langsung akibat pemakaian bersama elektron antara adsorbat dan permukaan, struktur elektronik adsorbat mengalami perubahan secara signifikan. Adsorpsi kimia menghasilkan panas adsorpsi lebih besar dari 40 kJ/mol (Anonim, 2011). Pada adsorpsi kimia, jumlah zat yang teradsorpsi akan semakin besar dengan naiknya temperatur dan untuk melepaskan kembali adsorbat dari permukaan adsorben diperlukan energi yang tinggi.

3. Adsopsi dalam larutan

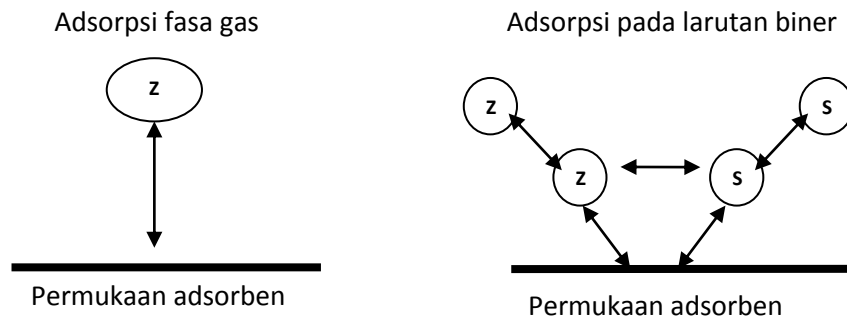
Adsorpsi dalam suatu larutan lebih bersifat kompleks. Hal ini dikarenakan pada adsorpsi larutan, terdapat dua atau lebih komponen yang dapat membentuk lapisan rapat pada adsorben. Akan terjadi kompetisi antar molekul adsorbat dengan molekul pelarut untuk terikat pada adsorben. Interaksi yang kuat antar molekul pelarut dengan adsorben akan menurunkan adsorpsi zat terlarut (Shaw, 1999).

Mekanisme sederhana dari adsorpsi dalam larutan pada suatu larutan biner dengan konsentrasi yang rendah dipengaruhi oleh faktor-faktor berikut :

- (a) gaya yang bekerja antar molekul-molekul adsorbat dan permukaan adsorben,
- (b) gaya antar molekul pelarut dengan permukaan adsorben,
- (c) gaya antar komponen larutan, yaitu antar molekul pelarut dengan adsorbat sebagai zat yang terlarut.

Khusus untuk gaya antar komponen larutan, gaya ini lebih dikenal dengan istilah polaritas. Polaritas dalam adsorpsi larutan dipengaruhi oleh berbagai hal. Salah satunya adalah polaritas dari adsorben, adsorbat maupun pelarut. Adsorben yang sifatnya polar cenderung lebih menyukai komponen yang bersifat polar. Oleh karenanya adsorbat polar dalam suatu pelarut non polar akan diadsorpsi lebih kuat oleh adsorben polar. Demikian pula sebaliknya, adsorbat non polar dalam pelarut polar diadsorpsi lebih kuat oleh adsorben non polar (Shaw, 1999).

Gambaran dari gaya yang mempengaruhi mekanisme adsorpsi dalam suatu sistem larutan biner ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Gaya yang bekerja pada adsorpsi dalam larutan biner.

Keterangan : Z adalah molekul adsorbat, sedangkan S adalah molekul pelarut (Oscik, 1982)

4. Isotermal adsorpsi

Jumlah zat yang diadsorpsi oleh adsorben, bergantung pada konsentrasi dari zat terlarut. Namun demikian, bila adsorben sudah jenuh, konsentrasi tidak lagi berpengaruh. Ketergantungan jumlah zat yang diadsorpsi pada konsentrasi kesetimbangan disebut isotermal adsorpsi. Persamaan isotermal adsorpsi yang umum digunakan adalah persamaan Langmuir dan Freundlich (Ramakrishna dan Viraghavan, 1997).

a. Isotermal Adsorpsi Langmuir

Isotermal Langmuir didasarkan pada asumsi bahwa adsorpsi maksimum bersesuaian dengan lapisan tunggal molekul adsorbat yang diadsorpsi pada permukaan adsorben, dimana energi adsorpsi konstan dan tidak terjadi perpindahan adsorbat pada bidang permukaan. Bentuk linear dari persamaan isotermal Langmuir ditunjukkan pada persamaan berikut :

$$\frac{C_e}{q_e} = \frac{1}{Q_0 \cdot b} + \frac{C_e}{Q_0} \quad (1)$$

Dimana C_e adalah konsentrasi kesetimbangan (mg/L), q_e adalah jumlah zat yang diadsorpsi per gram adsorben (mg/g), Q_0 dan b adalah konstanta Langmuir yang berturut-turut menyatakan kapasitas adsorpsi dan energi adsorpsi (Periasamy dan Namasivayam, 1995)

b. Isotermal Adsorpsi Freundlich

Isotermal Freundlich bergantung pada asumsi energi permukaan yang heterogen, dimana energi dalam persamaan Freundlich bervariasi sebagai fungsi dari cakupan permukaan (Atkins, 1994). Bentuk linear dari isoterm Freundlich ditunjukkan oleh persamaan :

$$\log \left[\frac{x}{m} \right] = \log k + \left[\frac{1}{n} \right] \log C \quad (2)$$

Dimana x adalah jumlah zat terlarut yang diadsorpsi, m adalah massa (gram) adsorben yang digunakan, C adalah konsentrasi kesetimbangan larutan. k dan n merupakan konstanta yang menggabungkan seluruh faktor yang mempengaruhi proses adsorpsi seperti kapasitas dan intensitas adsorpsi (Namasivayam, 2001)

c. Isotermal Adsorpsi Langmuir-Hinshelwood (L-H)

Menurut Jin, dkk. (1996), mekanisme LH awalnya digunakan dalam menerangkan bagaimana perubahan tekanan dan suhu mempengaruhi sistem katalitik individual. Mekanisme ini didasarkan pada anggapan bahwa :

1. Reaksi permukaan merupakan tahap penentu laju

2. Isotermal langmuir dapat digunakan dalam menerangkan kesetimbangan antara fase gas dan reaktan yang teradsorpsi.
3. Reaktan teradsorpsi berkompetisi pada lapisan permukaan.
4. Pada reaksi biomolekuler, reaksi terjadi antara dua spesies teradsorpsi.

Jika reaksinya adalah reaksi unimolekuler, maka persamaan reaksinya adalah :



Maka, lajunya $k \theta_A$

Dari persamaan isoterm Langmuir

$$\theta_A = \frac{K_A P_A}{1 + K_A P_A} \quad (3)$$

$$r = \frac{k_{\text{het}} K_A P_A}{1 + K_A P_A} \quad (4)$$

$$= \frac{E_{\text{het}} + \Delta H_{\text{ad}}}{RT^2} \quad (5)$$

Jika $K_A P_A \gg 1$, maka $r = k_{\text{het}} K_A P_A$, dan reaksinya adalah orde satu, dan jika $K_A P_A \ll 1$, maka $r = k_{\text{het}}$, dan reaksinya orde nol. Untuk suatu spesies yang teradsorpsi kuat, maka konstanta langmuir K menjadi sangat besar dan $K_A P_A \gg 1$ mungkin saja dijumpai untuk semua keadaan tekanan dan orde reaksi adalah selalu nol. Untuk suatu reaksi interaksi intermediate, orde reaksi bervariasi sesuai tekanan (Gasser, 1985).

Untuk adsorpsi ion logam, jika reaksinya ditulis sebagai :



Maka kinetika Langmuir-Hinshelwood untuk reaksi tersebut dapat dirumuskan sebagai :

$$-r_A = -\frac{\partial C_A}{\partial t} = \frac{k_1 K C_A}{1 + K C_A} \quad (6)$$

M^{n+} : ion logam

B : biomassa

(M • B) : ion logam yang terserap pada biomassa

r_A : laju reaksi, $\text{min}^{-1} \text{M}$.

K : konstanta kesetimbangan model kinetika LH

k_1 : konstanta laju reaksi orde satu model kinetika LH, mnt^{-1}

C_A : konsentrasi logam dalam larutan, M

t : waktu, menit

Jika reaksi adsorpsi berlangsung dengan konsentrasi awal $M(\text{II}) = C_0$, pada saat $t = 0$, konsentrasi akhir adalah C_A , maka persamaan (6) dapat dijabarkan menjadi :

$$-(1 + K C_A) dC_A = k_1 C_A dt \quad (7)$$

Atau

$$\frac{1 + K C_A}{C_A} dC_A = -k_1 dt \quad (8)$$

Dan jika persamaan (8) diintegrasikan diperoleh,

$$\frac{dC_A}{C_A} + K dC_A = -k_1 dt \quad (9)$$

$$\ln C_A + K C_A = -k_1 t + Y \quad (10)$$

dimana Y adalah konstanta integrasi

Pada keadaan dasar , $t = 0$, $C_A = C_0$ dan $Y = \ln C_0 + K C_0$

Dengan mensubstitusikan Y pada persamaan (10) akan diperoleh :

$$\ln C_A + K C_A = -k_1 t + \ln C_0 + K C_0 \quad (11)$$

Atau

$$\ln \left(\frac{C_A}{C_0} \right) + K (C_A - C_0) = -k_1 t \quad (12)$$

$$\ln \left(\frac{C_0}{C_A} \right) + K (C_0 - C_A) = k_1 t \quad (13)$$

Dengan membagi persamaan (13) dengan $C_0 - C_A$, maka akan diperoleh :

$$\frac{\ln \left(\frac{C_0}{C_A} \right)}{(C_0 - C_A)} + K = \frac{k_1 t}{(C_0 - C_A)} \quad (14)$$

di mana,

K : konstanta kesetimbangan model kinetika LH

k_1 : konstanta laju reaksi order satu, min^{-1}

C_0 : konsentrasi awal adsorbat dalam larutan, mol/L

C_A : konsentrasi adsorbat yang tersisa dalam larutan setelah waktu t, mol/L.

t : waktu, menit

Plot grafik $\frac{\ln \left(\frac{C_0}{C_A} \right)}{C_0 - C_A}$ lawan $\frac{t}{C_0 - C_A}$, akan diperoleh garis lurus dengan

k_1 sebagai slope dan $-K$ sebagai intersep.

Persamaan standar untuk reaksi orde pertama dan orde kedua telah diterapkan untuk menggambarkan penyerapan phosphamidon pada

antimon (V) fosfat penukar kation sebagai proses bertahap. Persamaan laju untuk dua reaksi ditunjukkan sebagai berikut :

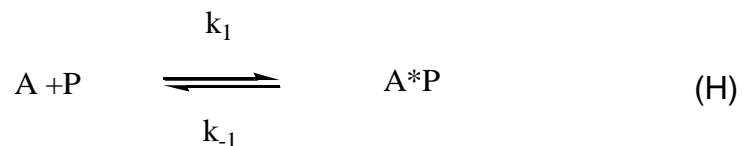
$$\log C = \log C_0 - \left(\frac{k_a}{2.303}\right) t \quad (15)$$

$$\frac{1}{c} - \frac{1}{c_0} = k_a t \quad (16)$$

Koreksi terhadap persamaan model kinetika yang diajukan oleh Jin dkk. dilakukan oleh Santosa. Menurutnya, tidak mungkin adsorpsi suatu ion logam khususnya pada kondisi ion tunggal mengikuti sepenuhnya model kinetika Langmuir-Hinshelwood sebagaimana yang dinyatakan oleh Jin dkk., (Santosa, 2001 dalam Anshar 2006).

Santosa menurunkan persamaan kinetika adsorpsi Langmuir dan mengusulkan suatu rumusan kinetika adsorpsi orde satu yang mencapai kesetimbangan, untuk kasus adsorpsi kation logam Cr(II) dan Cd(II) oleh asam humat. Secara matematis rumusan tersebut diperoleh dengan asumsi sebagai berikut :

Adsorpsi spesies tunggal A pada adsorben P digambarkan sebagai suatu proses adsorpsi yang mencapai suatu keseimbangan.



dengan k_1 adalah konstanta laju adsorpsi spesies A, sedangkan k_{-1} adalah konstanta laju desorpsi spesies A.

Jika θ_0 adalah fraksi sisi kosong pada adsorben, θ_1 adalah fraksi sisi yang ditempati pada adsorben, $\theta_0 + \theta_1 = 1$ serta adsorpsi mengikuti

adsorpsi isoterm Langmuir, maka laju adsorpsi (r_{ads}) untuk spesies A adalah

$$\begin{aligned} r_{ads} &= k_1 \cdot \theta_0 \cdot C_A \\ &= k_1 \cdot (1 - \theta_1) C_A \end{aligned} \quad (17)$$

Laju desorpsi (r_{des}) untuk spesies A adalah :

$$r_{des} = k_{-1} \cdot \theta_A \quad (18)$$

Pada kesetimbangan $r_{ads} = r_{des}$ maka setelah dilakukan penataan ulang untuk spesies A, diperoleh :

$$\begin{aligned} k_1 \cdot (1 - \theta_1) C_A &= k_{-1} \cdot \theta_1 \\ \theta_1 &= \frac{K \cdot C_A}{1 + K \cdot C_A} \end{aligned} \quad (19)$$

dimana K adalah tetapan kesetimbangan.

Penggantian nilai θ_A pada Persamaan (18) dengan θ_1 pada persamaan (19) diperoleh persamaan berikut :

$$r_{ads} = k_1 \left\{ 1 - \frac{K C_A}{1 + K C_A} \right\} \cdot C_A$$

Atau

$$= \frac{k_1 \cdot C_A}{1 + K \cdot C_A} \quad (20)$$

Laju adsorpsi spesies A dapat dinyatakan sebagai laju berkurangnya konsentrasi spesies A (C_A) dalam larutan.

$$r_{ads} = - \frac{dC_A}{dt} = \frac{k_1 \cdot C_A}{1 + K \cdot C_A} \quad (21)$$

Setelah dilakukan pemisahan variabel, dapat dihasilkan hubungan sebagai berikut:

$$dC_A / C_A + K .dC_A = -k_1 .dt$$

$$\ln C_A + K .C_A = -k_1 t + Y \quad (22)$$

Dimana Y adalah konstanta integrasi

Pada saat $t = 0$, $C_A = C_{A0}$, dan parameter K belum terbentuk karena adsorp belum berlangsung oleh karena itu $Y = \ln C_{A0}$ (23)

Dengan memasukkan harga Y ke dalam Persamaan (22) dihasilkan :

$$\ln C_A + K .C_A = -k_1 t + \ln C_{A0}$$

atau

$$\ln(C_{A0} / C_A) = k_1 t + K C_A \quad (24)$$

Pembagian dengan C_A menghasilkan :

$$\frac{\ln\left(\frac{C_{A0}}{C_A}\right)}{C_A} = k_1 \cdot \frac{t}{C_A} + K \quad (25)$$

Dengan membuat plot $\frac{\ln\left(\frac{C_{A0}}{C_A}\right)}{C_A}$ lawan $\frac{t}{C_A}$ akan dihasilkan

hubungan linier dengan slope = k_1 dan intersep = K

Rumusan model adsorpsi isoterm Langmuir digunakan untuk menentukan kapasitas adsorpsi suatu adsorben dan tetapan afinitas adsorbat pada permukaan adsorben. Dengan mengetahui harga tetapan

afinitas tersebut maka energi adsorpsi berupa energi bebas Gibbs standar untuk adsorpsi dapat ditentukan.

5. Model Kinetika

Model kinetika orde pertama semu dan orde kedua semu digunakan untuk menentukan orde kinetika adsorpsi. Persamaan *Lagergren* dapat diterapkan sebagai orde pertama, dengan asumsi jumlah ion logam melebihi jumlah sisi aktif permukaan adsorben. Nilai konstanta rata-rata orde pertama, k_1 , diperoleh dari persamaan berikut (Fan *dkk.* 2008; Gupta *dkk.* 2008) :

$$\frac{dq_t}{dt} = k_1(q_e - q_t) \quad (26)$$

Integrasi persamaan (26) dari $q_t = 0$ pada $t = 0$ menghasilkan :

$$\ln \left(\frac{q_e - q_t}{q_e} \right) = -k_1 t \quad (27)$$

$$\log (q_e - q_t) = \log q_e - \frac{k_1}{2,303} t \quad (28)$$

Untuk nilai k_1 dapat ditentukan dari kemiringan grafik $\log (q_e - q_t)$ terhadap t . Jika validitasnya rendah, yaitu koefisien korelasinya (r) kurang dari 0,99, maka kinetika adsorpsi dapat dicoba untuk mekanisme orde kedua semu dengan persamaan:

$$\frac{dq_t}{dt} = k_2 (q_e - q_t)^2 \quad (29)$$

Parameter k_2 merupakan konstanta orde kedua semu. Hasil integrasi dari persamaan (29) adalah :

$$\frac{t}{q_t} = \frac{1}{k_2 q_e^2} + \frac{1}{q_e} t \quad (30)$$

Dari persamaan tersebut diketahui q_t merupakan jumlah adsorbat yang teradsorpsi (mg/g) pada waktu t , q_e adalah jumlah adsorbat yang teradsorpsi (mg/g) pada waktu kesetimbangan, dan k adalah konstanta kecepatan adsorpsi, apabila nilai t/q_t diplotkan terhadap t maka akan diperoleh garis lurus. Selanjutnya nilai $1/q_e$ diperoleh dari tangen arah sehingga nilai q_e dapat dihitung. Sementara nilai $1/k_2q_e^2$ diperoleh dari titik potong garis dengan sumbu x, sehingga nilai k_2 dapat dihitung.

6. Energi Adsorpsi

Terjadinya proses adsorpsi melibatkan gaya-gaya intermolekul seperti; gaya elektrostatik, gaya London serta interaksi ion-ion yang terdapat pada adsorben maupun adsorbat, sehingga proses adsorpsi akan melibatkan perubahan energi. Jika adsorpsi dipandang sebagai suatu reaksi kesetimbangan, maka pada keadaan setimbang $\Delta G = 0$, sehingga energi adsorpsinya dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$E = \Delta G = - R T \ln K \dots\dots\dots(31)$$

dengan : ΔG = perubahan energi bebas Gibbs (J/mol)

R = tetapan gas umum (8,314 J/molK)

T = temperatur (Kelvin)

K = konstanta kesetimbangan adsorpsi (L/mol)

Bila energi bebas adsorpsi bernilai negatif, berarti adsorpsi tersebut terjadi secara spontan karena adsorpsi terjadi segera setelah terjadi kontak antara partikel-partikel adsorbat dengan partikel-partikel adsorben. Bila energi adsorpsi bernilai positif, maka proses adsorpsi tersebut

merupakan reaksi yang tidak spontan karena membutuhkan energi untuk terjadinya adsorpsi.

Proses adsorpsi dapat dipengaruhi oleh suhu, sehingga ketergantungan proses adsorpsi terhadap suhu dapat ditinjau dari besarnya energi aktivasi adsorpsi. Energi aktivasi merupakan energi minimal yang dibutuhkan untuk terjadinya adsorpsi. Energi aktivasi dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan Arrhenius, yakni :

$$K = A \cdot e^{-E_a/RT} \quad (32)$$

k = Konstanta laju reaksi, untuk reaksi ordo pertama bersatuan det^{-1}

A = Faktor frekuensi, dinamakan demikian karena satuannya sama dengan satuan konstanta laju reaksi.

E_a = Energi aktivasi

Faktor $e^{E_a/RT}$ memiliki kesamaan dengan hukum distribusi Boltzmann.

Faktor ini menunjukkan fraksi molekul yang memiliki energi yang melebihi energi aktivasi. Sering kali persamaan Arrhenius ditulis dalam bentuk logaritma sebagai berikut :

$$\log k = \left(\frac{-E_a}{2,303 R} \right) \frac{1}{T} + \log A \quad (33)$$

Atau

$$\ln k = \left(\frac{-E_a}{R} \right) \frac{1}{T} + \ln A \quad (34)$$

Berdasarkan persamaan (34) dengan mengalurkan $\ln k$ terhadap $1/T$ akan diperoleh energi aktivasi (E_a) dari lerengnya (Bird T., 1993).

Pada kajian adsorpsi yang melibatkan perubahan suhu, maka ukuran energi adsorpsi dapat pula ditentukan dari besarnya ΔH (perubahan entalpi) adsorpsi yang diperoleh, besaran entalpi ini dapat digunakan untuk menentukan jenis adsorpsi yang terjadi. Berdasarkan persamaan Gibbs dan Hemholtz perubahan entalpi dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$\left[\frac{\partial(G/T)}{\partial(1/T)} \right]_p = \Delta H \quad (35)$$

Bila persamaan (31) disubstitusikan ke dalam persamaan (35), akan didapatkan :

$$\frac{\partial \ln K}{\partial (1/T)} = - \frac{\Delta H}{R} \quad (36)$$

Integral tak tentu persamaan (36) akan menghasilkan

$$\ln K = - \frac{\Delta H}{R} \frac{1}{T} + C \quad (37)$$

Jika $1/T$ dialurkan terhadap $\ln K$ (konstanta kesetimbangan Langmuir), maka akan diperoleh ΔH dari lerengnya.

Hubungan antara energi bebas Gibbs dan perubahan entalpi dirumuskan sebagai berikut :

$$\Delta G^\circ = \Delta H^\circ - T \Delta S^\circ \quad (38)$$

Sehingga dengan menggunakan persamaan (38), perubahan entropi dapat pula ditentukan. Entropi adalah besaran termodinamika yang menunjukkan ketidak teraturan suatu sistem.

Dengan membagi kedua ruas dengan T diperoleh :

$$\Delta G^\circ/T = \Delta H^\circ/T - \Delta S^\circ \quad (39)$$

6. Faktor yang mempengaruhi adsorpsi

Faktor-faktor yang mempengaruhi proses adsorpsi dalam larutan antara lain :

a. Luas permukaan

Adsorpsi mengalami peningkatan dengan bertambahnya luas permukaan. Mikropori dan porositas molekuler akan meningkatkan kapasitas adsorpsi.

b. Karakteristik permukaan

Sifat alamiah permukaan sangat mempengaruhi penyerapan, terutama yang berkaitan dengan muatan permukaan. Muatan permukaan dalam sistem bisa berubah dengan perubahan pH bisa juga tidak.

c. Kelarutan

Semakin besar kelarutan adsorbat, maka kemungkinan interaksi antara adsorbat dengan permukaan akan semakin besar. Hal ini dapat menyebabkan adsorpsi mengalami peningkatan .

d. Temperatur

Adsorpsi bersifat eksotermis sehingga kenaikan temperatur akan mengurangi kemampuan adsorpsi.

e. Keasaman larutan (pH)

Umumnya perubahan pH dapat mempengaruhi muatan permukaan sehingga proses adsorpsi juga terpengaruh. Seperti pada adsorpsi dengan menggunakan ligan, pada pH rendah ligan permukaan cenderung terprotonasi sehingga kation logam akan berkompetisi dengan H^+ untuk terikat pada ligan permukaan. Pada pH tinggi, jumlah ion OH^- yang besar

menyebabkan ligan permukaan cenderung terdeprotonasi sehingga terjadi kompetisi antara ligan permukaan dengan ion OH^- untuk berikatan dengan kation logam (Fajarini, 2006).

F. Pengukuran Kadar Abu dari Sekam Padi

Untuk mengetahui seberapa besar kandungan mineral abu sekam padi maka dilakukan uji kadar abu, hal ini disebabkan karena kadar abu berkaitan erat dengan kandungan mineral. Makin tinggi kandungan mineral, maka makin tinggi kadar abu (Anshar, 2006).

Pengukuran kadar abu dilakukan dengan membakar sekam padi pada suhu yang tinggi seperti $750\text{ }^\circ\text{C}$ selama 4- 5 jam sehingga yang tersisa pada abu sekam padi merupakan mineral yang terkandung didalam sekam.

G. Sonokimia (*Sonochemistry*)

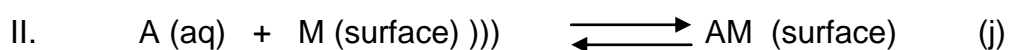
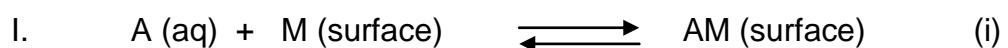
Sonokimia berawal dari proses kavitasi akustik (Suslick, 1990). Jika suatu larutan diperlakukan dengan gelombang ultrasonik, maka fenomena yang terjadi adalah pembentukan gelembung, pertumbuhan gelembung, dan pemecahan gelembung. Selama pemecahan gelembung (*cavitational collapse*), pemanasan intens akan terjadi. Titik panas yang terlokalisasi ini memiliki temperatur $5000\text{ }^\circ\text{C}$, tekanan 500 atm dan waktu hidup beberapa mikrodetik. Iradiasi ultrasonik berbeda dari sumber energi tradisional (seperti panas, cahaya, atau radiasi pengion) dalam durasi, tekanan, dan energi per molekul.

Efek kimia dari ultrasonik tidak berasal dari interaksi langsung dengan spesies molekul. Sebaliknya, sonokimia berasal terutama dari kavitas akustik. Kavitas akustik berfungsi sebagai sarana memusatkan energi suara. Ini adalah fenomena yang mendasar untuk sonokimia dan sonoluminesens (Suslick, K. S., 1990).

Gelombang kejut dari kavitas dalam cairan-padat menghasilkan kecepatan tinggi tabrakan interpartikel. Aplikasi untuk reaksi kimia ada di kedua cairan homogen dan sistem cair-padat. Tabrakan interpartikel dihasilkan mampu mendorong perubahan dalam morfologi permukaan, komposisi, dan reaktivitas.

Sonokimia sering digunakan untuk perawatan medis (seperti hipertermia untuk trauma tulang rawan) dan diagnosis (seperti sonographp perkembangan janin).

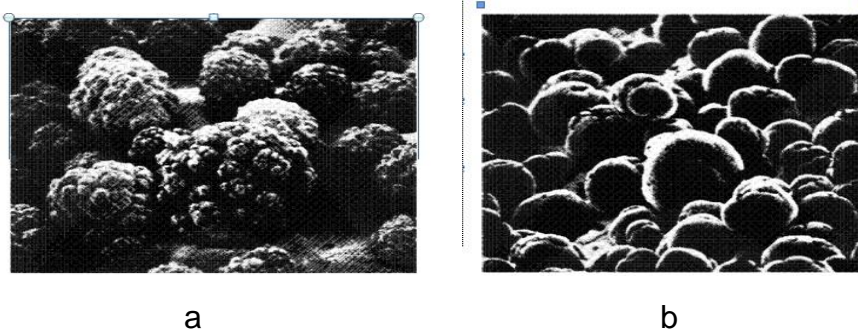
Efek ultrasonik pada permukaan dapat dijelaskan dengan reaksi berikut:



Reaksi di atas dapat dijelaskan sebagai berikut :

- I. Penyerapan pada kondisi tanpa gelombang ultrasonik.
- II. Penyerapan dengan iradiasi gelombang ultrasonik. Tanda))) menyatakan adanya iradiasi ultrasonik. Simbol A menyatakan zat polutan yang akan diadsorpsi, M adalah permukaan adsorben, dan AM adalah keadaan setelah zat A teradsorpsi pada permukaan M.

Efek ultrasonik dapat dilihat pada Gambar 4.



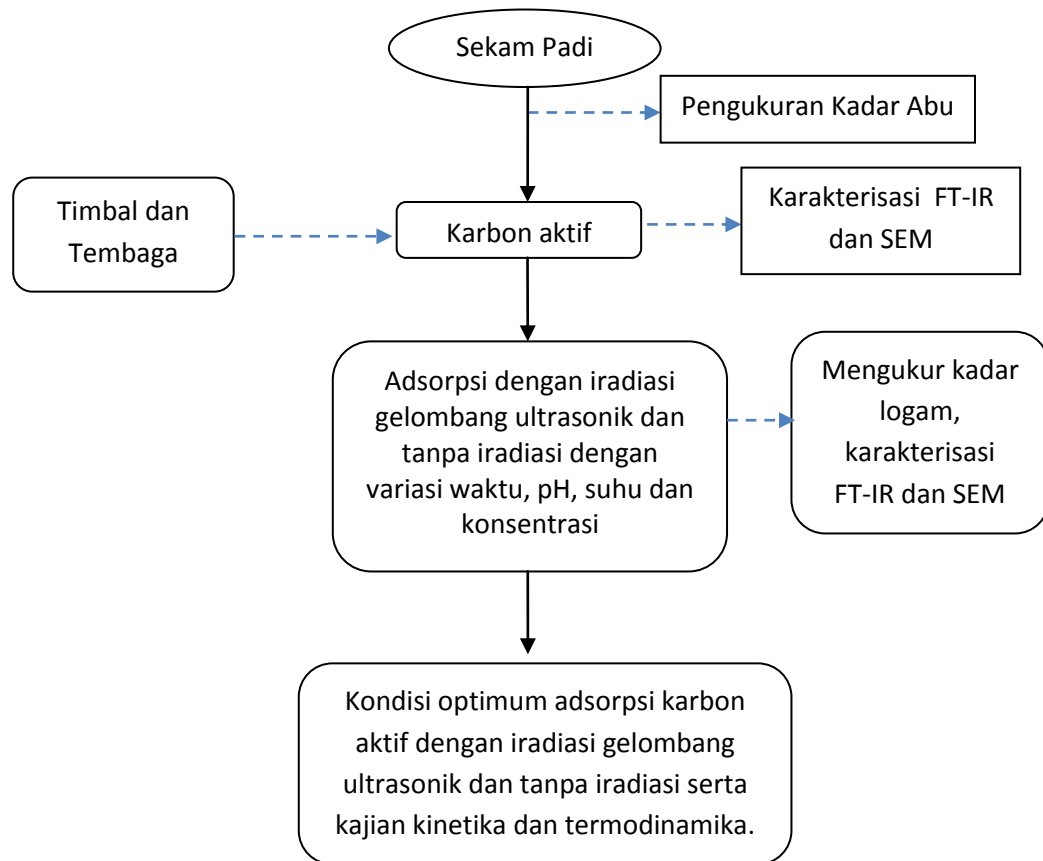
Gambar 4. Pengaruh iradiasi ultrasonik pada morfologi permukaan dan ukuran partikel bubuk Ni. Diameter partikel awal (a) sebelum ultrasound adalah 160 μm , (b) setelah ultrasound adalah 80 μm . Tabrakan interpartikel dengan kecepatan tinggi yang disebabkan oleh iradiasi ultrasonik yang menyebabkan partikel Ni menjadi kecil (Suslick dkk., 1990).

H. Kerangka Pemikiran

Sekam padi merupakan limbah pertanian yang mengandung protein, lemak, serat, abu, karbohidrat dan silika. Sekam padi ini dapat dijadikan karbon aktif. Timbal dan tembaga merupakan senyawa yang dapat menimbulkan gangguan bagi lingkungan perairan dan kesehatan manusia jika melebihi ambang batas.

Logam timbal dan tembaga diadsorpsi dengan berbagai variasi waktu, pH, suhu dan konsentrasi. Variasi waktu dapat memberikan informasi tentang model kinetika reaksi. Variasi pH dan suhu dilakukan untuk melihat pengaruhnya pada proses adsorpsi. Variasi konsentrasi dapat memberikan informasi tentang kapasitas adsorpsi. Pemanfaatan gelombang ultrasonik dapat meningkatkan kapasitas adsorpsi logam Pb(II) dan Cu(II) menggunakan karbon aktif sekam padi karena efek kavitasi

akustik dan kajian kinetika dan termodinamika memberikan informasi tentang laju reaksi dan energi adsorpsi.



Gambar 5. Alur kerangka pemikiran penelitian

i. Hipotesis

Hipotesis 1 : Adsorpsi karbon aktif terhadap logam timbal dan tembaga yang diiradiasi dengan gelombang ultrasonik dan tanpa gelombang ultrasonik akan berlangsung maksimal jika dilakukan pada waktu kontak, pH, temperatur, dan konsentrasi optimum.

Hipotesis 2 : Kapasitas adsorpsi karbon aktif yang berasal dari sekam padi terhadap logam timbal dan tembaga yang diiradiasi dengan

gelombang ultrasonik lebih besar daripada adsorpsi tanpa gelombang ultrasonik.

Hipotesis 3 : Kajian kinetika diharapkan memberikan informasi proses adsorpsi berdasarkan laju adsorpsi dan untuk mencapai efisiensi reaksi yang lebih tinggi, sedangkan pada termodinamika diperoleh energi yang terlibat dalam proses adsorpsi, spontan atau tidaknya reaksi, endoterm atau eksoterm suatu reaksi.