

KARAKTERISASI ABU KERAK BOILER DARI PT NUSA INA GROUP UNTUK ADSORPSI LOGAM Pb

Gilberth N. Rupilu*, Sunarti, Julita B. Manuhutu

*Chemistry Education Study Program, Faculty Of Teacher Training and Educational Sciences
Pattimura University*

*gilberthnoberthorupilu@gmail.com

Received: 17 October 2023 / Accepted: 31 October 2023 / Published: 24 January 2024

ABSTRAK

Telah dilakukan penelitian terhadap abu kerak boiler untuk mengetahui kristalinitas serta menentukan kapasitas dan efisiensi adsorpsi optimum abu kerak boiler terhadap logam Pb berdasarkan variasi massa adsorben, waktu kontak dan pH. Analisis kristalinitas abu kerak boiler menggunakan XRD, sedangkan penentuan kapasitas dan efisiensi adsorpsi optimum abu kerak boiler menggunakan SSA. Hasil analisis XRD didominasi oleh mineral SiO_2 dalam bentuk kuarsa dengan sudut difraksi $2\theta = (20,91; 21,96; 26,66; 27,96; 31,32; 34,56; 50,03; 50,22)$. Kapasitas adsorpsi optimum massa adsorben 0,01 g adalah 89,1925 mg/g, efisiensi adsorpsi optimum massa adsorben 0,1 g adalah 95,45%. Kapasitas dan efisiensi adsorpsi optimum dicapai pada waktu kontak 45 menit adalah 9,974 mg/g dan 98,96%. Kapasitas dan efisiensi adsorpsi optimum dicapai pada pH 8 adalah 9,699 mg/g dan 87,97%.

Kata Kunci : Abu Kerak Boiler Kelapa Sawit, XRD, SSA, Adsorpsi

ABSTRACT

Boiler scale ash research has been carried out to determine crystallinity and determine the optimum adsorption capacity and efficiency of boiler scale ash on Pb based on variations in adsorbent mass, contact time and pH. Analysis of the crystallinity of boiler ash using XRD, while the determination of the optimum adsorption capacity and efficiency of boiler ash using AAS. The results of the XRD analysis were dominated by SiO_2 minerals in the form of quartz with a diffraction angle of $2\theta = (20.91; 21.96; 26.66; 27.96; 31.32; 34.56; 50.03; 50.22)$. The optimum adsorption capacity of the adsorbent mass of 0.01 g is 89.1925 mg/g, the optimum adsorption efficiency of the adsorbent mass of 0.1 g is 95.45%. The optimum adsorption efficiency capacity achieved at 45 minutes contact time is 9.974 mg/g and 98.96%. The optimum adsorption efficiency capacity achieved at pH 8 was 9.699 mg/g and 87.97%.

Keywords: Oil Palm Boiler Crust Ash, XRD, SSA, Adsorption

PENDAHULUAN

Pencemaran lingkungan adalah masuknya zat, energi, makhluk hidup, limbah atau komponen lain ke dalam lingkungan dan berubahnya sistem lingkungan oleh kegiatan manusia, sehingga kualitas lingkungan turun sampai ke tingkat tertentu yang menyebabkan lingkungan menjadi tidak berfungsi sesuai dengan peruntukannya (Mukono, 2008). Logam Pb adalah logam berat yang digolongkan ke dalam bahan pencemar yang berbahaya. Kelebihan timbal (Pb) yang terserap ke dalam tubuh manusia dapat menyebabkan kecerdasan anak menurun, pertumbuhan badan terhambat, bahkan dapat menimbulkan kelumpuhan (Widayatno dkk, 2017). Kondisi ini perlu mendapat perhatian dengan melakukan penanganan terhadap keberadaan logam Pb dalam perairan sehingga tidak melebihi ambang batas yang ditetapkan dengan Peraturan Pemerintah RI No. 22 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan, Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup yaitu sebesar 0,03-0,5 mg/L. Salah satu metode yang paling sering digunakan

adalah dengan metode adsorpsi. Adsorpsi adalah proses perpindahan massa pada permukaan pori-pori dalam butiran adsorben (Asip, dkk., 2008).

Salah satu limbah yang dapat dimanfaatkan sebagai adsorben adalah limbah padat dari hasil pengolahan kelapa sawit. Abu kerak boiler memiliki kandungan mineral utama yang sama dengan abu layang dan abu sekam padi yaitu sama-sama mengandung SiO_2 (Pujiana, 2014). Menurut Sunarti dkk., (2023) komposisi kimiawi abu layang kelapa sawit dari PT. Nusa Ina Group Kec. Seram Utara Timur Kobi berdasarkan hasil analisis XRF dengan proses aktivasi menunjukkan komposisi senyawa SiO_2 (76 %), P_2O_5 (1,70 %), K_2O (12,60 %), CaO (4,37 %), TiO_2 (0,49 %), V_2O_5 (0,006 %), MnO (0,17 %), Fe_2O_3 (4,61 %), CuO (0,247 %), ZnO (0,054 %), Rb_2O (0,078 %), SrO (0,055 %) dan ZrO_2 (0,037 %). Oleh sebab itu abu dari sabut dan cangkang kelapa sawit berpotensi untuk dijadikan adsorben dikarenakan memiliki senyawa aktif berupa senyawa silikon dioksida (SiO_2) yang mampu menyerap logam berat Pb.

Beberapa penelitian terdahulu yang berkaitan dengan adsorpsi logam berat Timbal (Pb) menggunakan adsorben cangkang kelapa sawit yang dilakukan Irawan, dkk., (2019) yang menyatakan bahwa adsorben dari cangkang kelapa dapat mengurangi kandungan logam berat timbal (Pb) dengan efisiensi sebesar 99,07% dan konsentrasi akhir sebesar 1,41 mg/L. Semakin kecil ukuran partikel karbon aktif cangkang kelapa sawit daya serap adsorben akan semakin meningkat.

METODE PENELITIAN

Peralatan yang digunakan pada penelitian ini adalah ayakan 100 mesh, desikator, *magnetic stirrer*, X-RD (*X-ray Diffraction*), SSA (Spektrofotometer Serapan Atom), gelas kimia, labu takar, *hot plate*, erlenmeyer, lumpung dan alu. Bahan yang digunakan adalah abu kerak boiler kelapa sawit, larutan induk Pb 1000 ppm, aquades, kertas saring *Whatman* No 42.

Prosedur Kerja

1. Preparasi Abu Kerak Boiler Kelapa Sawit

Abu kerak boiler diambil dari PT. Nusa Ina Group, Kecamatan Seram Utara Timur Kobi, Kabupaten Maluku Tengah. Abu kerak boiler dihaluskan menggunakan lumpung dan alu dan diayak dengan saringan 100 mesh. Selanjutnya dipanaskan dalam oven pada suhu 100°C selama 1 jam. Kemudian Abu kerak boiler dianalisis menggunakan X-RD untuk mengetahui kristalinitas abu kerak boiler.

2. Pembuatan Larutan Standar Pb

- Pembuatan Larutan Standar Pb 100 ppm
Dipipet 10 ml larutan induk Pb 1000 ppm dan dimasukkan ke dalam labu takar 100 mL dan diencerkan hingga tanda batas, diperoleh larutan standar 100 ppm.
- Pembuatan Larutan Standar Pb 10 ppm
Dipipet larutan Pb 100 ppm sebanyak 10 mL, dimasukkan ke dalam labu takar 100 mL dan diencerkan sampai tanda batas, diperoleh larutan Pb 10 ppm.
- Pembuatan Larutan Seri Standar Pb 0,2; 0,4; 0,6; 0,8 dan 1 ppm
Larutan standar Pb 0,2; 0,4; 0,6; 0,8 dan 1 ppm dibuat dengan cara memipet larutan Pb 1 ppm sebanyak 0,2; 0,4; 0,6; 0,8 dan 1 mL, kemudian dimasukkan ke dalam labu takar 10 mL dan diencerkan sampai tanda batas.

3. Proses Adsorpsi Ion Pb dalam Larutan Menggunakan Abu Kerak Boiler

- Variasi Massa Adsorben
Sebanyak 25 mL larutan Pb 1 ppm dimasukkan ke dalam 3 buah Erlenmeyer dan ditambahkan abu kerak boiler dengan variasi massa: 0,01 g, 0,05 g, dan 0,1 g. Selanjutnya dilakukan proses adsorpsi dengan pengadukan menggunakan *magnetic stirrer* selama 30 menit dan dilakukan penyaringan dengan kertas saring *whatman* No. 42. Filtrat yang diperoleh diukur absorbansinya dengan Spektrofotometer Serapan Atom (SSA).
- Variasi Waktu Kontak

Sebanyak 25 mL larutan Pb dengan konsentrasi awal 1 ppm dimasukkan ke dalam 4 buah erlemeyer dan ditambahkan abu kerak boiler sebanyak X gram (massa adsorben optimum). Selanjutnya dilakukan proses adsorpsi dengan pengadukan menggunakan *magnetic stirrer* pada variasi waktu 30 menit, 45 menit, 60 menit, dan 90 menit. Dan dilakukan penyaringan dengan kertas saring whatman 42. Filtrat yang diperoleh diukur absorbansinya dengan Spektrofotometer Serapan Atom (SSA).

c. Variasi pH

Sebanyak 25 mL larutan Pb 1 ppm dimasukkan ke dalam 5 buah Erlenmeyer dan ditambahkan abu kerak boiler sebanyak X (massa adsorben optimum). Selanjutnya diatur buffer pH masing-masing 3, 5, 6, 7, 8 dan dilakukan proses adsorpsi dengan pengadukan menggunakan *magnetic stirrer* selama Y (waktu optimum). Selanjutnya dilakukan penyaringan dengan kertas saring whatman 42. Filtrat yang diperoleh diukur absorbansinya dengan Spektrofotometer Serapan Atom (SSA).

d. Teknik Analisis Data

Berdasarkan pengukuran larutan standar Pb, maka dibuat grafik absorbansi dengan konsentrasi, yang bertujuan untuk mendapatkan persamaan regresi.

Untuk penentuan kapasitas adsorpsi digunakan persamaan :

$$q = \frac{(C_0 - C_a)V}{m}$$

dimana q = kapasitas adsorpsi (mg/g),
 C_0 = konsentrasi awal (mg/L),
 C_a = konsentrasi akhir (mg/L),
 V = volume (L),
 m = massa adsorben (g).

Untuk mengukur penentuan efisiensi adsorpsi digunakan persamaan :

$$\text{Efisiensi adsorpsi (\%)} = \frac{(C_0 - C_a)}{C_0} \times 100\%$$

dimana, C_0 = konsentrasi sebelum adsorpsi (mg/L),
 C_a = konsentrasi setelah adsorpsi (mg/L) (Abdou, 2013).

HASIL PENELITIAN

A. Preparasi Abu Kerak Boiler Kelapa Sawit

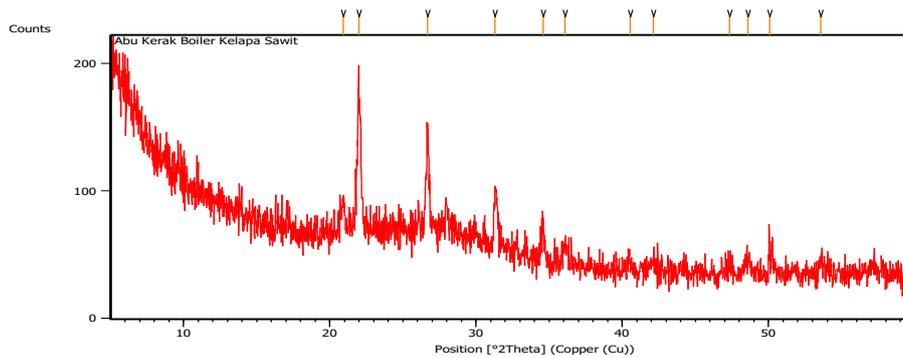
Sampel yang digunakan dalam penelitian ini adalah limbah abu kerak boiler dari kelapa sawit yang diperoleh dari PT Nusa Ina Group Kecamatan Seram Utara Timur Kobi Kabupaten Maluku Tengah. Proses preparasi sampel abu kerak boiler dimulai dengan menggerus abu kerak boiler dengan lumpung dan alu, kemudian diayak menggunakan ayakan berukuran 100 mesh. Abu kerak boiler yang telah diayak, dicuci dengan aquades untuk menghilangkan kotoran-kotoran yang menempel pada abu kerak boiler. Abu kerak boiler kemudian dipanaskan dalam oven dengan suhu 100°C selama 24 jam. Pemanasan pada suhu 100°C dapat menguapkan kandungan air pada pori-pori abu kerak boiler sehingga lebih terbuka. Struktur dari pori merupakan faktor yang penting karena struktur pori berhubungan dengan luas permukaan, sebab semakin kecil pori-pori abu kerak boiler maka luas permukaannya semakin besar (Sunarya, 2006).

Proses adsorpsi ditentukan oleh luas permukaan adsorben dan kemampuan adsorpsi semakin baik jika dilakukan melalui pemanasan dengan suhu tinggi untuk menghilangkan kandungan air dan pengotor lainnya pada pori (Arif, 2014).



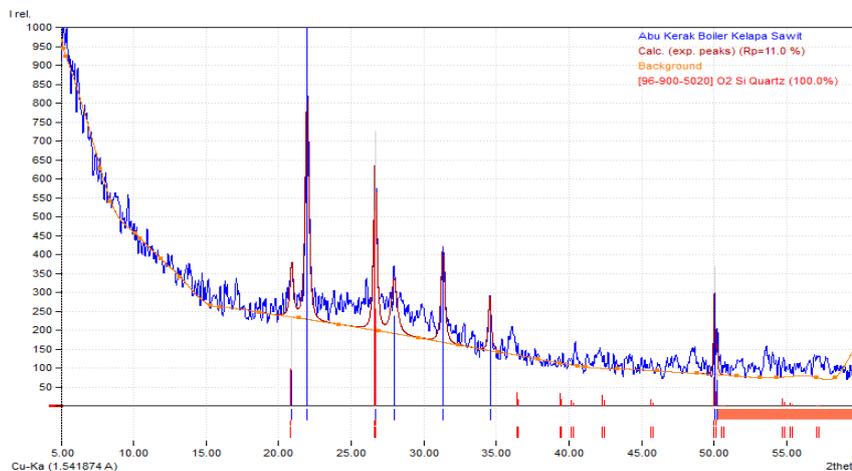
Gambar 1. Abu hasil preparasi

Selanjutnya abu dianalisis kristalinitasnya menggunakan XRD. Analisis ini dilakukan pada kondisi operasi radiasi Cu-K α dengan sudut 2θ sebesar $5-50^\circ$. Karakterisasi menggunakan XRD bertujuan untuk menentukan tingkat kristalinitas dan kemurnian dari abu kerak boiler dengan cara mengidentifikasi fase kristal dan mengetahui jenis mineral yang menyusun sampel. Data hasil analisis dengan *X-Ray Diffraction (XRD)* ditunjukkan pada **Gambar 2**.



Gambar 2. Data Difaktogram Abu Kerak Bolier

Berdasarkan **Gambar 2** data difaktogram abu kerak boiler di atas menunjukkan adanya beberapa puncak yang berupa gundukan dan tidak teratur serta puncak yang tinggi dan tajam dengan intensitas tinggi. Hal ini diperkuat dengan penelitian dari Sunarti dkk, (2023) bahwa cangkang sawit dan abu sawit memiliki pola difraksi puncak tajam dan intensitas tinggi. Puncak tajam ini diidentifikasi sebagai puncak kuarsa dan kristobalit. Puncak dengan intensitas rendah dan berbentuk gundukan diidentifikasi sebagai SiO₂ amorf. Selanjutnya untuk mengetahui puncak-puncak tersebut dilakukan analisis menggunakan *software match*.



Gambar 3. Data Difaktogram Abu Kerak Boiler Hasil Identifikasi Menggunakan *Software Match*.

Software match digunakan dalam analisis data XRD ini bertujuan untuk membandingkan data yang diperoleh dari hasil penelitian (garis spectrum warna biru) dengan data standar COD (*crystallography open database*) yang telah dimiliki oleh *software match* (garis spectrum warna merah) sehingga fasa yang terdapat dalam abu kerak boiler dapat diketahui. Berdasarkan gambar 2 dan 3 terlihat bahwa abu kerak boiler mengandung silika dengan pola difraktogram berupa puncak yang tajam dan intensitas yang tinggi. Dominasi fasa kristalin disebabkan oleh temperatur pembakaran cangkang sawit dan abu sawit dalam tungku untuk memanaskan boiler (Ketel), dimana pada temperatur 800-900 didominasi oleh SiO₂ kristobalit, sedangkan pada temperatur lebih dari 900°C didominasi oleh silika kuarsa (Trivana dkk, 2015). Data intensitas puncak silika ditunjukkan pada **Tabel 1**.

Tabel 1. Hasil Analisis XRD Abu Kerak Boiler

Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
20.8997	23.57	0.2007	4.25052	21.60
21.9718	109.10	0.1338	4.04549	100.00
26.6782	74.04	0.1673	3.34153	67.87
31.2889	39.19	0.2007	2.85885	35.92
34.5667	30.08	0.2007	2.59489	27.57
36.0916	15.09	0.4015	2.48868	13.83
40.5174	9.05	0.4015	2.22647	8.29
42.1221	9.14	0.4684	2.14529	8.37
47.3444	6.93	0.8029	1.92013	6.35
48.5836	10.91	0.4015	1.87401	10.00
50.0551	27.11	0.0669	1.82231	24.85
53.5542	11.78	0.2676	1.71121	10.80

Tabel 1 merupakan hasil analisis XRD dari abu kerak boiler sebelum diidentifikasi dengan menggunakan *software match* untuk mengetahui jenis fasa Kristal, yang kemudian digunakan *software match* untuk dianalisis lebih lanjut.

Tabel 2. Hasil analisis XRD abu kerak boiler berdasarkan *Software Match*

Pos. [°2Th.]	Peak Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Counts (peak area)
20.91	233.16	0.2862	4.2489	11.90
21.96	1000.00	0.2922	4.0475	52.11
26.66	725.82	0.2724	3.3442	35.27
27.96	238.74	0.4650	3.1912	19.80
31.32	416.64	0.2952	2.8562	21.94
34.56	232.54	0.2265	2.5954	9.39
50.03	369.61	0.1337	1.8231	8.81
50.22	104.34	0.1015	1.8168	1.89

Pada **tabel 2**, puncak-puncak yang tajam dan tinggi ini diidentifikasi sebagai puncak-puncak silika kuarsa. Derajat kristalinitas kristal kuarsa memiliki puncak utama yang bersesuaian dengan nilai d_{hkl} dan muncul pada sudut difraksi $2\theta = (20.91; 21.96; 26.66; 27.96; 31.32; 34.56; 50.03; 50.22)$. Puncak-puncak yang tidak tajam dan cenderung berupa gundukan diidentifikasi sebagai silika amorf. Berdasarkan penelitian dari Arif dkk, (2018) menggunakan *software match* untuk mencocokkan data yang diperoleh dari XRD dengan membuat nanosilika gel dari silika abu sekam padi diperoleh silika gel dengan struktur kristal terdapat SiO₂ pada sudut (2θ) : 21.93°, 31.47°, dan 36.07° yang memiliki intensitas tinggi yaitu 87.6% dan struktur parameter kisi $a = 4.9717 \text{ \AA}$ dan $c = 6.9223 \text{ \AA}$ dengan bentuk tetragonal. Berdasarkan data difraktogram di atas maka dapat disimpulkan bahwa abu kerak boiler lebih didominasi oleh mineral SiO₂ dalam bentuk kuarsa.

B. Adsorpsi Ion Pb Menggunakan Abu Kerak Boiler

1. Variasi Massa Adsorben

Tabel 3. Konsentrasi dan Absorbansi Larutan Pb Setelah Proses Adsorpsi Berdasarkan Variasi Massa Adsorben

Massa Adsorben (g)	Konsentrasi Awal Pb (ppm)	Setelah Adsorpsi	
		Absorbansi	Konsentrasi (ppm)
0,01	1	0,0094	0,4323
0,05	1	0,0014	0,0807
0,1	1	0,0006	0,0455

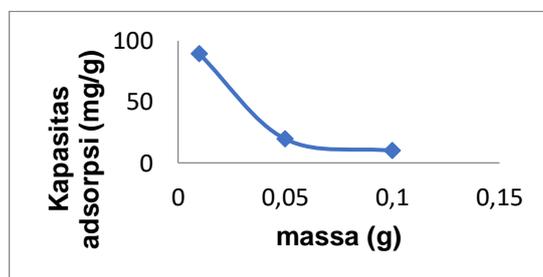
Berdasarkan data **Tabel 3** di atas diketahui bahwa pada massa adsorben 0,01 g konsentrasi setelah adsorpsi yaitu sebesar 0,4323, kemudian mengalami penurunan konsentrasi seiring meningkatnya massa adsorben. Hal ini menunjukkan bahwa semakin besar massa adsorben yang digunakan maka kemampuan adsorpsinya itu semakin meningkat. Keadaan tersebut mengindikasikan bahwa semakin besar massa adsorben yang digunakan maka adsorbat yang teradsorpsi pada adsorben itu semakin banyak, dimana konsentrasi sisa setelah adsorpsinya tinggi maka yang diadsorpsi oleh adsorben itu rendah, sebaliknya jika konsentrasi sisa setelah adsorpsinya rendah maka yang diserap oleh adsorben itu tinggi.

a. Kapasitas Adsorpsi

Tabel 4. Kapasitas Adsorpsi Berdasarkan Variasi Massa Adsorben dengan Kapasitas Adsorpsi

Massa Adsorben (g)	Konsentrasi Awal Pb (ppm)	Setelah Adsorpsi		Kapasitas Adsorpsi (mg/g)
		Absorbansi	Konsentrasi (ppm)	
0,01	1	0,0094	0,4323	89,1925
0,05	1	0,0014	0,0807	19,5965
0,1	1	0,0006	0,0455	9,8862

Hubungan antara kapasitas adsorpsi dengan variasi massa dapat dibuat dalam kurva seperti tampak pada **Gambar 4**.



Gambar 4. Kapasitas adsorpsi abu kerak boiler dengan ion Pb terhadap variasi massa

Dari hasil analisis kapasitas adsorpsi yang disajikan pada **Tabel 4** dan **Gambar 4** terlihat bahwa terjadi penurunan kapasitas adsorpsi seiring meningkatnya massa adsorben. Kapasitas adsorpsi optimum terjadi pada massa adsorben 0,01 g yaitu sebesar 89.1925 mg/g. Hal ini dikarenakan peningkatan jumlah adsorben dapat meningkatkan jumlah sisi aktif yang akan saling berkompetisi dalam penjerapan adsorbat sehingga akan menyebabkan kapasitas adsorpsi menjadi menurun jika dibandingkan dengan jumlah adsorben yang sedikit (Nurhasni dkk, 2018).

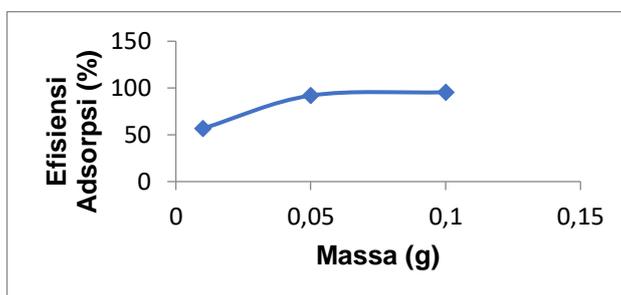
Menurut Oscik dan Cooper (1992) menyatakan bahwa banyaknya sisi aktif berbanding dengan luas permukaan adsorben dan masing-masing sisi aktif hanya dapat mengadsorpsi satu molekul adsorbat.

b. Efisiensi Adsorpsi

Tabel 5. Efisiensi Adsorpsi Berdasarkan Variasi Massa Adsorben dengan Efisiensi Adsorpsi

Massa Adsorben (g)	Konsentrasi Awal Pb (ppm)	Setelah Adsorpsi		Efisiensi Adsorpsi (%)
		Absorbansi	Konsentrasi (ppm)	
0,01	1	0,0094	0,4323	56,77
0,05	1	0,0014	0,0807	91,93
0,1	1	0,0006	0,0455	95,45

Hubungan antara efisiensi adsorpsi dengan variasi massa dapat dibuat dalam kurva seperti tampak pada **Gambar 5**.



Gambar 6. Efisiensi Adsorpsi Abu Kerak Boiler dengan Ion Pb terhadap Variasi Massa

Dari hasil analisis efisiensi adsorpsi yang disajikan pada **Tabel 5** dan **Gambar 6** menunjukkan adanya kenaikan persentase ion logam Pb yang terserap oleh abu kerak boiler. Semakin besar massa adsorben yang digunakan maka semakin tinggi juga nilai efisiensi penyisihan ion logam Pb. Hal ini diperkuat dengan penelitian yang dilakukan oleh Utubira dkk, (2021) yang melakukan adsorpsi dengan menggunakan tulang ceker ayam untuk adsorpsi ion Pb^{2+} , menyatakan bahwa semakin bertambah massa adsorben, maka nilai efisiensi adsorpsinya meningkat. Hasil analisis di atas selaras dengan teori dimana semakin tinggi massa adsorben yang digunakan, maka akan semakin tinggi pula persen penyisihan adsorben terhadap logam (Jain dan Ram, 1997).

2. Variasi Waktu Kontak

Tabel 6. Konsentrasi dan Absorbansi Larutan Pb Setelah Proses Adsorpsi Berdasarkan Variasi Waktu Kontak

Waktu Kontak (menit)	Konsentrasi Awal Pb (ppm)	Setelah Adsorpsi	
		Absorbansi	Konsentrasi (ppm)
30	1	0,0017	0,0939
45	1	0,0002	0,0104
60	1	0,0006	0,0455
90	1	0,0004	0,0367

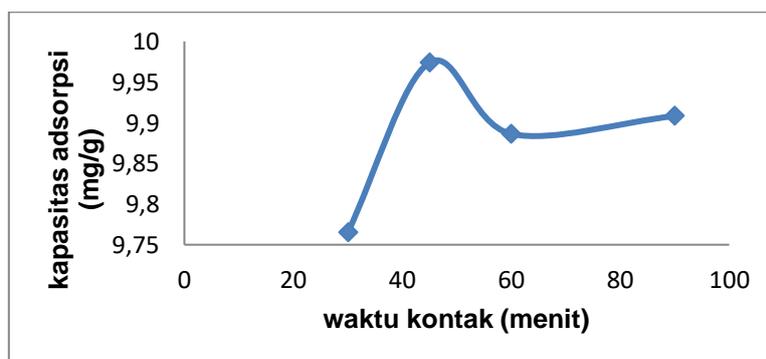
Berdasarkan data **Tabel 6** di atas diketahui bahwa hasil kemampuan penyerapan adsorben terhadap ion logam timbal (Pb) mengalami peningkatan seiring dengan bertambahnya waktu kontak massa adsorben. Hal ini ditandai dengan semakin rendah konsentrasi sisa Pb maka konsentrasi yang terserap meningkat, begitupun sebaliknya, jika konsentrasi sisa Pb tinggi berarti konsentrasi yang terserap rendah. Hal ini disebabkan karena bertambahnya waktu kontak interaksi antara adsorben dan adsorbat intensitasnya semakin meningkat sehingga kesempatan untuk teradsorpsi semakin meningkat sampai mengalami kesetimbangan (kejenuhan). Setelah terjadi kesetimbangan proses adsorpsi menurun karena terjadi desorpsi, dimana adsorbat terlepas dari adsorben karena sisi aktif adsorben telah jenuh.

a. Kapasitas Adsorpsi

Tabel 7. Kapasitas Adsorpsi Berdasarkan Variasi Waktu Kontak dengan Kapasitas Adsorpsi

Waktu Kontak (menit)	Konsentrasi Awal Pb (ppm)	Setelah Adsorpsi		Kapasitas Adsorpsi (mg/g)
		Absorbansi	Konsentrasi (ppm)	
30	1	00017	0,0939	9,7653
45	1	0,0002	0,0104	9,9740
60	1	0,0006	0,0455	9,8863
90	1	0,0004	0,0367	9,9083

Hubungan antara kapasitas adsorpsi dengan variasi massa dapat dibuat dalam kurva seperti tampak pada **Gambar 7**.



Gambar 7. Kapasitas Adsorpsi Abu Kerak Boiler dengan Ion Pb terhadap Variasi Waktu Kontak

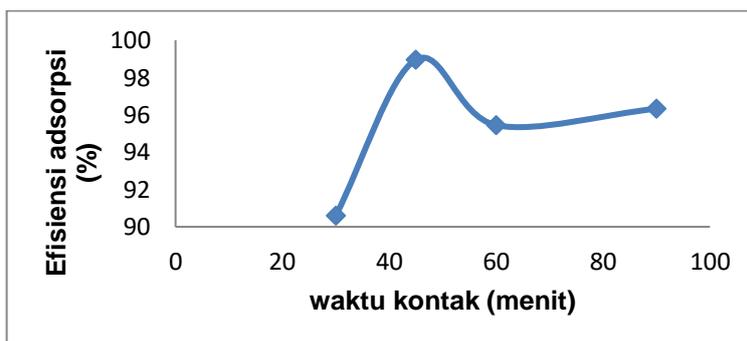
Berdasarkan **Tabel 7** dan **Gambar 7** di atas terlihat bahwa nilai kapasitas adsorpsi tertinggi diperoleh pada waktu 45 menit yaitu sebesar 9,974 mg/g. Haryanto dkk, (2018) menyatakan bahwa tipe interaksi ion logam dengan permukaan abu kerak adsorben merupakan interaksi fisika dan kimiawi secara bersamaan. Dapat dimungkinkan bahwa terjadi interaksi gaya *van der waals* yang merupakan proses fisika dimana proses ini, ikatan adsorpsi cukup lemah sehingga pada saat melewati kondisi maksimum, kapasitas adsorpsi dapat menurun. Menurut Sunarti dkk, (2022) yang melakukan adsorpsi Pb menggunakan arang aktif dari limbah sabut kelapa sawit melaporkan bahwa semakin lama waktu kontak, kapasitas adsorpsi ion Pb^{2+} semakin meningkat dan mengalami penurunan setelah terjadi kesetimbangan. Desorpsi terjadi akibat pelepasan adsorbat dari permukaan adsorben, hal ini tandai dengan jenuhnya permukaan adsorben, sehingga adsorbat yang telah terserap akan terlepas dari adsorben dan kembali ke dalam larutan menjadi zat pengotor yang mengakibatkan kapasitas adsorpsi semakin menurun (Utubira dkk, 2021).

b. Efisiensi Adsorpsi

Tabel 8. Efisiensi Adsorpsi Berdasarkan Variasi Waktu Kontak dengan Efisiensi Adsorpsi

Waktu Kontak (Menit)	Konsentrasi Awal Pb (ppm)	Setelah Adsorpsi		Efisiensi Adsorpsi (%)
		Absorbansi	Konsentrasi (ppm)	
30	1	0,0017	0,0939	90,61
45	1	0,0002	0,0104	98,96
60	1	0,0006	0,0455	95,45
90	1	0,0004	0,0367	96,33

Hubungan antara efisiensi adsorpsi dengan variasi waktu kontak dapat dibuat dalam kurva seperti tampak pada **Gambar 8**.



Gambar 8. Efisiensi Adsorpsi Abu Kerak Boiler dengan Ion Pb terhadap Variasi Waktu Kontak

Berdasarkan **Tabel 8** dan **Gambar 8** di atas terlihat bahwa persentase ion logam Pb yang terserap oleh abu kerak boiler semakin bertambah dengan meningkatnya waktu kontak. Tingkat efisiensi adsorpsi abu kerak boiler tertinggi diperoleh pada waktu 45 menit yaitu sebesar 98,96%. Adsorben dapat kembali menyerap namun dengan persen kecil dibandingkan saat awal optimum dan menurun pada waktu 60 dan 90 menit. Hal ini menunjukkan bahwa sebagian besar ion logam berat Pb terserap oleh permukaan adsorben abu kerak boiler pada awal adsorpsi, namun setelah adanya penambahan waktu nilai penyerapan menjadi berkurang (Sangiunsak dan Punratanasin, 2014).

3. Variasi Ph

Tabel 9. Konsentrasi dan Absorbansi Larutan Pb Setelah Proses Adsorpsi Berdasarkan Variasi pH

pH	Konsentrasi Awal Pb (ppm)	Setelah Adsorpsi	
		Absorbansi	Konsentrasi (ppm)
3	1	0,0123	0,5598
5	1	0,0054	0,2565
6	1	0,0085	0,3928
7	1	0,0065	0,3049
8	1	0,0023	0,1203

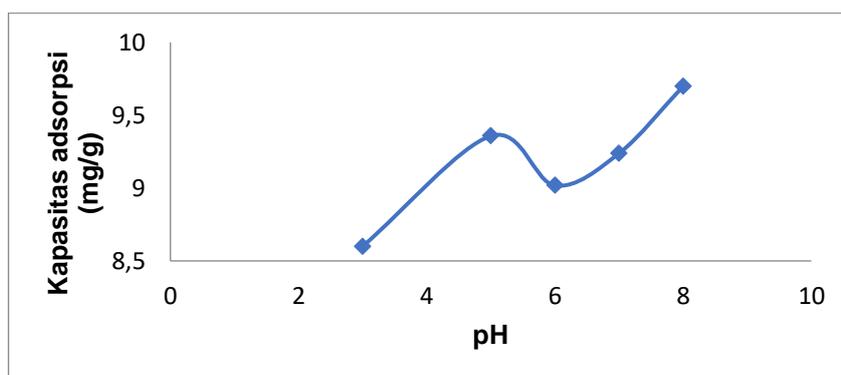
Berdasarkan pada **Tabel 9** yang didapat dari pengukuran pada pH 8 menunjukkan terjadinya penyerapan logam Pb. Adsorpsi ion Pb mengalami peningkatan pada pH 8. Hal ini dikarenakan berkurangnya kompetisi diantara proton (H^+) dan ion logam bermuatan positif (Pb) yang menghasilkan tolakan rendah terhadap ion Pb, sehingga ion logam dapat dengan mudah terjerap (W. Vella & I. Ulfir, 2015). Hal ini diperkuat dengan penelitian yang dilakukan oleh Achadu dkk, (2014) yang melakukan adsorpsi ion Pb dengan abu sekam padi dan diperoleh hasil yang sama dimana nilai optimum yang diperoleh yaitu pada pH 8, yang disebabkan karena pada kisaran pH 3 dan 8 yang lebih tinggi menyebabkan presipitasi logam. Hal ini dapat dijelaskan berdasarkan kerapatan muatan permukaan gugus silanol dan gugus fungsional lainnya seperti hidroksil, karboksil, amino dan lain lain yang ada pada permukaan abu sekam padi.

a. Kapasitas adsorpsi

Tabel 10. Kapasitas Adsorpsi Berdasarkan Variasi pH dengan Kapasitas Adsorpsi

pH	Konsentrasi Awal Pb (ppm)	Setelah Adsorpsi		Kapasitas Adsorpsi (mg/g)
		Absorbansi	Konsentrasi (ppm)	
3	1	0,0123	0,5598	8,6005
5	1	0,0054	0,2565	9,358
6	,1	0,0085	0,3928	9,018
7	1	0,0065	0,3049	9,239
8	1	0,0023	0,1203	9,699

Hubungan antara kapasitas adsorpsi dengan variasi pH dapat dibuat dalam kurva seperti tampak pada **Gambar 9**.



Gambar 9. Kapasitas adsorpsi abu kerak boiler terhadap ion Pb berdasarkan variasi pH

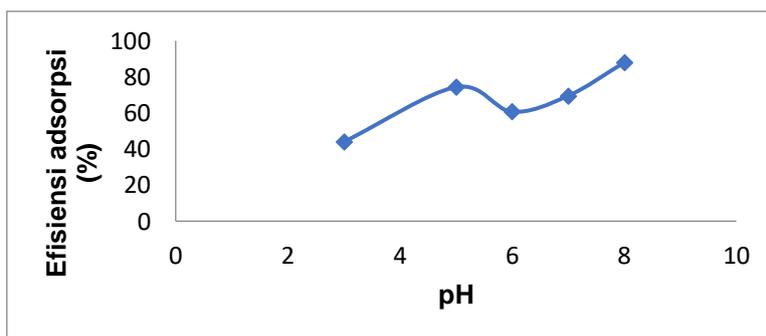
Berdasarkan **Tabel 10** dan **Gambar 9** di atas, menunjukkan bahwa nilai optimum kapasitas adsorpsi untuk menjerap ion logam Pb yang diperoleh yaitu pada pH 8 sebesar 9,699 mg/g. Menurut penelitian dari Zhang dkk, (2020), kapasitas adsorpsi terhadap ion logam Pb meningkat dari pH 1 hingga 8. Pada pH asam atau di bawah pH 5, adsorben menjadi terprotonasi sehingga menjadi repulsif atau tolak menolak terhadap ion Pb dan menyebabkan adsorben tidak dapat maksimal menjerap. Nilai dari pH larutan akan mempengaruhi situs pengikatan pada permukaan adsorben dan sifat kimiawi dari adsorben. Ion hidrogen pada pH asam akan bersaing kuat dengan larutan yang memiliki sesama pH asam (D.Ouyang dkk, 2019).

b. Efisiensi Adsorpsi

Tabel 11. Efisiensi Adsorpsi Berdasarkan Variasi Waktu Kontak dengan Efisiensi Adsorpsi

pH	Konsentrasi Awal Pb (ppm)	Setelah Adsorpsi		Efisiensi Adsorpsi (%)
		Absorbansi	Konsentrasi (ppm)	
3	1	0,0123	0,5598	44,02
5	1	0,0054	0,2565	74,35
6	1	0,0085	0,3928	60,72
7	1	0,0065	0,3049	69,51
8	1	0,0023	0,1203	87,97

Hubungan antara efisiensi adsorpsi dengan variasi pH dapat dibuat dalam kurva seperti tampak pada **Gambar 10**.

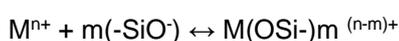


Gambar 10. Efisiensi adsorpsi abu kerak boiler dengan ion Pb terhadap variasi pH

Berdasarkan **Tabel 11** dan **Gambar 10** di atas bahwa persen efisiensi ion Pb mencapai titik maksimum pada pH 8 yaitu 87,97%. Pada pH 8 konsentrasi H⁺ paling kecil sehingga pada kondisi ini terjadi adsorpsi maksimum ion Pb pada permukaan adsorbennya dan terjadi peningkatan kapasitas adsorpsi yang tinggi (Bhat dkk, 2015). Persen dari efisiensi penyisihan dan kapasitas daya serap adsorbennya meningkat ketika nilai pH meningkat juga (Gong dkk, 2015). Menurut Wang dkk (2009), Pada pH tinggi kompetisi ion H⁺ sebagai kompetitor ion logam akan menurun karena larutan bersifat basa dimana pada pH tinggi akan menghasilkan endapan hidroksida logam yang mengurangi kelarutan ion logam. Pada ion logam Pb untuk pH optimum berada pada pH 8, hal ini disebabkan karena penambahan OH⁻ yang berlebih sehingga memiliki potensi membentuk kompleks dengan endapan logam hidroksida yang terbentuk dan akan melarutkan kembali logam yang telah mengendap sehingga kapasitas penyerapan meningkat.

C. Mekanisme Adsorpsi Ion Logam Pb Menggunakan Abu Kerak Boiler

Penelitian yang dilakukan oleh Achadu dkk, (2014) yang melakukan adsorpsi ion Pb dengan abu sekam padi yang memiliki komposisi utamanya silika menjelaskan bahwa interaksi abu sekam padi dapat mengakibatkan ion logam teradsorpsi pada permukaannya. Adsorpsi ion logam pada abu sekam padi dapat dijelaskan berdasarkan model pembentukan permukaan kompleks, dimana hidrolisis silikon dioksida menghasilkan gugus permukaan oksida hidrat (-Si-OH) gugus silanol. Permukaan silika yang terbentuk memiliki keasaman lemah (pKa= 6-8). Proses adsorpsi dapat dilanjutkan dengan reaksi pertukaran kation melalui substitusi dengan proton dari gugus silanol.



Reaksi Keseluruhan :



Kemampuan adsorpsi silika bergantung pada distribusi gugus Si-OH tiap unit area adsorben. Gugus Si-OH membuat permukaan adsorben bersifat polar. Akibatnya, ion logam Pb dapat terjerap oleh gugus Si-OH pada permukaan dengan menghasilkan pertukaran kation sebagai gejala kemisorpsi (Said, dkk. 2014).

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian maka dapat disimpulkan bahwa :

1. Abu kerak boiler dari PT Nusa Ina Group yang didominasi oleh mineral SiO₂ dalam bentuk kuarsa ditunjukkan pada sudut difraksi 2θ = (20,91; 21,96; 26,66; 27,96; 31,32; 34,56; 50,03; 50,22).
2. Kapasitas adsorpsi optimum abu kerak boiler diperoleh pada massa adsorben 0,01 g yaitu 89,1925 mg/g, sedangkan efisiensi adsorpsi optimum dicapai pada massa adsorben 0,1 g yaitu 95,45 %.
3. Kapasitas efisiensi adsorpsi optimum abu kerak boiler dicapai pada waktu kontak 45 menit yaitu 9,974 mg/g dan 98,96 %.
4. Kapasitas efisiensi adsorpsi optimum abu kerak boiler dicapai pada pH 8 yaitu 9,699 mg/g dan 87,97 %.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdou, A. A. 2013. Spectrophotometric Determination of Chromium(III) in Egyptian Ilmenite from Phosphate Solution Using Egyptian White Sand (EWS) As a Selective Adsorbent. *African Journal of Pure and Applied Chemistry*. Vol, 7. No, 1 : 1-11.
- Asip, F., Mardhiah, R., dan Husna, 2008. *Uji Efektivitas Cangkang Telur dalam Mengadsorpsi Ion Fe dengan Proses Batch*.
- Haryanto, B., M. Z . Siswarni, C. H. Chang, A. T. Kuo, & W. B. Singh. 2018. Interaction Models on Sand Surface of Natural Adsorbent with Adsorbate Cd²⁺ Metals Ions in Solution with Batch Operation. *IOP Conference Series; Materials Science and Engineering* 308(1).
- Mukono, H.J. 2008. *Pencemaran Udara dan Pengaruh terhadap Gangguan Saluran Pernapasan* (cetakan ketiga). Surabaya Airlangga University Press.
- Oscik, J. (1992) *Adsorption, Edition Cooper*, I.L., John wiley & sons, New York.
- Pujiana, N. 2014. Adsorpsi Methylene Blue Menggunakan Abu Sabut Tempurung Kelapa Teraktivasi Natrium Klorida (NaCl) Sebagai Adsorben. *Skripsi*. Malang: Jurusan Kimia Fakultas Sains dan Teknologi UIN Maulana Malik Ibrahim Malang.
- Sangjumsak, N, & P. Punrattanasin. 2014. Adsorption Behavior of Heavy Metals on Various Soils. *Journal of Environmental Studies*. 23(3): 853-65.
- Sunarti, Abraham Mariwi, & Asasa N. Laitupa. 2023. Synthesis And Characterization Of Silika Gel From Palm Shell And Choir Ash. *Indonesian Journal Of Chemical Research*, 11(1), 59-64.
- Sunarya, I.A. 2006. Biosorpsi Logam Berat Pb(II) dan Cd(II) menggunakan Kulit Jeruk Siam (Citrus reticulata). *Skripsi*. Bogor: Institut Pertanian Bogor.
- Trivana, L., Sugiarti, S., & Rohaeti, E. 2015. Sintesis Dan Karakterisasi Natrium Silikat (Na₂SiO₃). *Jurnal Sains Dan teknologi Lingkungan*, 7(2), 66-75.
- Utubira, Y., Nurmawati, N., & Sunarti, S. 2022. Preparasi dan Aktivasi Abu Tulang Ceker Ayam Untuk Adsorpsi Ion Pb²⁺. *Molluca Journal of Chemistry Education (MJoCE)*, 12(1), 62-67.

- Vella, C, W., & Ita Ulfina. 2015. Pengaruh pH pada adsorpsi ion Cd^{2+} dalam Larutan Menggunakan Karbon Aktif dari Biji Trembesi (samanea saman). *J Sains dan seni ITS*, 4(2),2337-3520.
- Widayatno, T. Yulawati, T., & Adi, A, S. 2017. Adsorpsi Logam Berat Pb Dari Limbah Cair Dengan Adsorben Arang Bambu Aktif. *Jurnal Teknologi Bahan Alam*. 1(1): 17-23.
- Zhang, Junjie, Jingai Shao, Qianzheng Jin, Xiong Zhang, Haiping Yang, Yingquan Chen, Shibong Zhang, & Hanping Chen. 2020. Effect of Deashing on Activation Proses and Lead Adsorption Capacities of Sludge Based Biochar. *Science of the Total Environment* 716: 137016