

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Abu Terbang (*Fly Ash*)

Fly ash atau abu terbang merupakan material sisa-sisa pembakaran batu bara yang pada umumnya dihasilkan oleh pabrik. Kandungan *fly ash* sebagian besar terdiri dari oksida silika (SiO_2), alumina (Al_2O_3), besi (Fe_2O_3) dan kalsium (CaO) serta potassium, sodium, titanium, dan sulfur dalam jumlah sedikit (Puspayana & Damayanti, 2013). Berdasarkan hasil uji XRF (*X-Ray Fluorescence*) *Fly ash* batu bara mengandung SiO_2 (35,240%), Fe_2O_3 (33,665%), MnO (0,240%), K_2O (1,781%), dan CaO (29,075%) (Pratiwi et al., 2018).



Gambar 2. 1 *Fly ash*

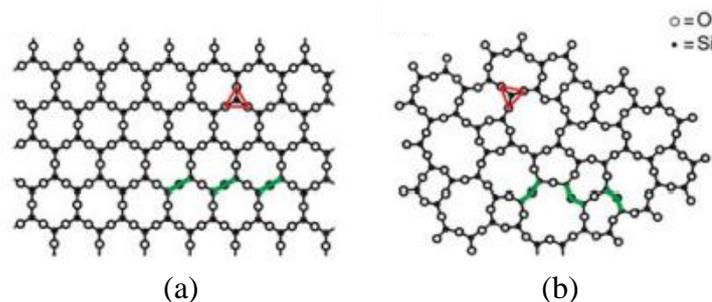
Menurut Yilmaz (2012), ukuran diameter partikel *fly ash* berkisar 1 μm sampai lebih 150 μm . Luas permukaannya adalah berkisar antara 300 – 500 m^2/kg , beberapa tipe *fly ash* mempunyai luas permukaan kurang dari 200 maupun hingga 700 m^2/kg . Warna hitam pada *fly ash* tergantung pada jumlah karbon yang tidak terbakar dalam abunya. Semakin cerah warnanya, maka semakin rendah kandungan karbonnya.

Fly ash memiliki banyak kegunaan jika ditangani dengan baik sehingga tidak merusak lingkungan, mengganggu kesehatan, dan dapat meningkatkan nilai ekonomisnya. Umumnya *fly ash* digunakan sebagai salah satu bahan campuran pembuat beton pada industri semen. Selain itu, *fly ash* dapat digunakan sebagai bahan baku keramik, gelas, batu bata; sebagai *polisher*; sebagai filer aspal, plastik; dan sebagai adsorben (Naufa & Azwardi, 2017).

2.2 Silika (SiO₂)

Silikon dioksida atau silika adalah suatu mineral yang penyusun utamanya berupa silikon (Si) dan oksigen (O₂). Berdasarkan struktur molekulnya silika dibagi menjadi dua bagian yaitu: silika kristalin dan silika amorf. Silika kristalin adalah silika yang susunan molekulnya membentuk pola tertentu (kristal) sedangkan silika amorf adalah silika yang susunan molekulnya tidak teratur. Silika sebagai senyawa yang terdapat di alam berstruktur kristalin, sedangkan sebagai senyawa sintetisnya berupa amorf. Secara sintesis senyawa silika dapat dibuat dari larutan silikat atau dari pereaksi silan (Sulastri & Kristianingrum, 2010).

Silika amorf merupakan polimer dengan rumus (SiO₂)_n. Atom silikon membentuk ikatan kovalen dengan empat atom oksigen membentuk struktur tetrahedral. Setiap atom oksigen tersebut akan membentuk ikatan kovalen dengan atom silikon membentuk gugus siloksan (-Si-O-Si) dan gugus silanol (-Si-O-H). Silika amorf memiliki unit bangun yang sama dengan kristalin, tetapi silika amorf memiliki susunan yang lebih acak (Büchner et al., 2015)



Gambar 2. 2 Struktur silika (a) kristalin dan (b) amorf (Büchner et al., 2015)

Silika dapat ditemukan pada *fly ash* batu bara, *bottom ash* dan sekam padi yang dapat diambil dengan cara ekstraksi. Bahan aktivator yang dapat digunakan pada proses ekstraksi silika adalah NaOH dan HCl. Silika banyak dimanfaatkan pada bidang elektronik, mekanik, media, seni, dan bidang lainnya. Salah satu pemanfaatan silika yaitu sebagai absorben logam Fe pada limbah batik (Hardyanti et al., 2017). Penelitian lainnya memanfaatkan silika yang disintesis dari abu ampas tebu sebagai membran silika-kitosan untuk mengabsorpsi logam Pb (Sjamsiah et al., 2017).

2.3 Desalinasi

Desalinasi merupakan proses menghilangkan kadar garam pada air asin atau air payau sehingga diperoleh air tawar. Proses desalinasi dapat diklasifikasikan menjadi dua kelompok utama: (i) metode yang digerakkan secara termal seperti *multi stage flash* (MSF) dan *multi effect distillation* (MED) dan (ii) metode yang digerakkan oleh tekanan seperti reverse osmosis (RO). MSF dan RO adalah teknologi desalinasi dominan yang digunakan di seluruh dunia, masing-masing menyumbang 27% dan 59% dari desalinasi. Akan tetapi teknologi desalinasi konvensional ini memiliki kelemahan seperti *scaling*, *fouling*, korosi, dan menggunakan bahan kimia sebelum dan sesudah pengolahan air laut (Woo et al., 2019).

Teknologi desalinasi adsorpsi merupakan teknologi desalinasi yang ramah lingkungan dan memiliki efisiensi tinggi pada proses desalinasi. Desalinasi adsorpsi adalah teknologi berbasis termal yang dapat bekerja pada suhu rendah dengan sumber energinya limbah panas atau panas matahari untuk menjalankan siklus penyerapan menggunakan silika gel yang sangat berpori. Adsorben silika gel memiliki afinitas yang tinggi terhadap uap air karena adanya ikatan rangkap pada permukaan yang ada di antara silika gel mesopori dan uap air. Hal ini menghasilkan penyerapan uap air yang tinggi dan regenerasi oleh sumber limbah panas (panas buang) suhu rendah yang dapat dibuang ke atmosfer (Prapta, 2017).

Proses adsorpsi tergantung pada banyaknya tumbukan yang terjadi antara partikel-partikel adsorbat dan adsorben. Tumbukan efektif antara partikel itu akan meningkat dengan meningkatnya luas permukaan. Jadi, semakin luas permukaan adsorben maka proses adsorpsi akan semakin besar. Semakin kecil ukuran partikel maka waktu kontak akan berlangsung lebih lama. Proses adsorpsi akan semakin baik jika waktu kontak ditingkatkan. Waktu kontak diperlukan untuk mencapai nilai optimal dalam proses adsorpsi. Akan tetapi waktu kontak yang terlalu lama menyebabkan adsorben mencapai tingkat kejenuhannya sehingga daya serap terhadap polutannya akan menurun (Darmawansa et al., 2014; Ambia, 2021).

Faktor lainnya yang mempengaruhi proses adsorpsi adalah penambahan massa. Semakin tinggi penambahan massa adsorben maka semakin besar luas

permukaan adsorben sehingga kemampuan adsorben untuk menyerap polutannya semakin tinggi dan efektif (Ambia, 2021).

2.4 Adsorpsi

Adsorpsi adalah proses yang terdiri atas reaksi-reaksi permukaan zat padat (adsorben) dengan zat pencemar (adsorbat), baik pada fase cair maupun gas. Adsorben adalah zat padat yang bisa menyerap partikel fluida dalam suatu proses adsorpsi. Adsorpsi terjadi karena molekul-molekul pada permukaan zat padat atau zat cair memiliki gaya tarik dalam keadaan tidak seimbang, yang cenderung tertarik ke arah dalam. Ketidaksetimbangan gaya tarik tersebut menyebabkan adsorben cenderung menarik zat-zat lain yang bersentuhan dengan permukaannya (Ambia, 2021).

Adsorben memiliki sifat spesifik dan terbuat dari bahan-bahan yang memiliki pori. Pemilihan jenis adsorben dalam proses adsorpsi harus disesuaikan dengan sifat dan keadaan zat yang akan diadsorpsi dan nilai komersialnya. Adsorben dengan kemurnian tinggi memiliki kapasitas adsorpsi yang baik. Selain itu, semakin besar luas permukaan adsorben maka semakin tinggi kapasitas adsorpsinya (Cahyono & Tuhi, 2012). Kapasitas adsorpsi dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan 2.1 (Sylvia et al., 2021).

$$Q = \frac{(C_o - C_{eq}) \times V}{m} \dots \dots \dots (2.1)$$

Keterangan : Q = kapasitas adsorpsi (mg/g)

C_o = konsentrasi awal (ppm)/(mg/L)

C_{eq} = konsentrasi setimbang (ppm)/(mg/L)

V = volume (L)

m = massa adsorben (g)

Sedangkan, penentuan %efisiensi adsorpsi dihitung menggunakan Persamaan 2.2 (Sylvia et al., 2021).

$$\% \text{ Efisiensi} = \frac{(C_o - C_{eq})}{C_o} \times 100\% \dots \dots \dots (2.2)$$

Keterangan : C_o = konsentrasi awal (ppm)/(mg/L)

$$C_{eq} = \text{konsentrasi setimbang (ppm)/(mg/L)}$$

Proses adsorpsi yang menggambarkan hubungan antara zat yang teradsorpsi oleh adsorben dengan tekanan atau konsentrasi pada keadaan kesetimbangan dengan temperatur tetap biasanya disebut dengan isoterm adsorpsi. Adsorpsi isotermal ini terbagi dalam dua jenis adsorpsi yaitu adsorpsi isoterm Langmuir dan adsorpsi isoterm Freundlich (Metcalf & Eddy, 2003).

2.4.1 Adsorpsi Isoterm Langmuir

Teori Langmuir menyatakan bahwa adsorpsi terjadi pada tempat tertentu (*localized site theory*), yaitu molekul-molekul zat yang teradsorpsi hanya dapat diadsorpsi pada tempat-tempat tertentu sehingga lapisan teradsorpsi hanya dapat setebal satu molekul. Oleh karena itu, model Langmuir tepat untuk adsorpsi monolayer pada permukaan dengan jumlah terbatas pada tempat yang sama dan bersifat *reversible*. Persamaan isoterm Langmuir dituliskan sebagai berikut (Metcalf & Eddy, 2003) :

$$Q = \frac{a \times K_L \times C_{eq}}{1 + K_L \times C_{eq}} \dots \dots \dots (2.3)$$

Persamaan diatas dapat diturunkan secara linier menjadi :

$$\frac{C_e}{Q} = \frac{1}{a} C_{eq} + \frac{1}{a \times K_L} \dots \dots \dots (2.4)$$

Dimana : W = Efektivitas adsorpsi (mg/g)

K_L = Konsentrasi Langmuir (L/mg)

C_{eq} = Konsentrasi kesetimbangan (konsentrasi sisa) (mg/L)

a = Kapasitas atau daya adsorpsi maksimum (mg/g)

Dari persamaan tersebut dibuat grafik antara C_{eq}/Q terhadap C_{eq} , maka akan didapatkan persamaan linear dengan intersept $1/a.b$ dan slope $1/a$ sehingga nilai a dan b dapat dihitung.

2.4.2 Adsorpsi Isoterm Freundlich

Proses isoterm adsorpsi ini terjadi pada beberapa lapisan dan mempunyai ikatan yang tidak kuat, sehingga adsorpsi ini bisa digambarkan sebagai adsorpsi fisik. Adsorben pada model adsorpsi ini memiliki permukaan yang homogen

sehingga dapat membentuk beberapa lapisan. Persamaan Isoterm Freundlich dapat dirumuskan sebagai berikut (Fatimah et al., 2021) :

$$Q = K C_e^{\frac{1}{n}} \dots \dots \dots (2.5)$$

Bentuk linier dari persamaan diatas dapat diubah dengan mengambil bentuk logaritmanya :

$$\text{Log } Q = \text{Log } K + \frac{1}{n} \text{Log } C_{eq} \dots \dots \dots (2.6)$$

Dimana : Q = kapasitas adsorpsi (mg/g)

K = kapasitas adsorpsi maksimum (mg/g)

n = konstanta adsorpsi Freundlich (L/mg)

C_{eq} = Konsentrasi kesetimbangan (konsentrasi sisa) (mg/L)

Bila dibuat kurva log Q terhadap log C_{eq} maka akan diperoleh persamaan linear dengan intersep log K dan slop 1/n, sehingga nilai K dan n dapat dihitung.

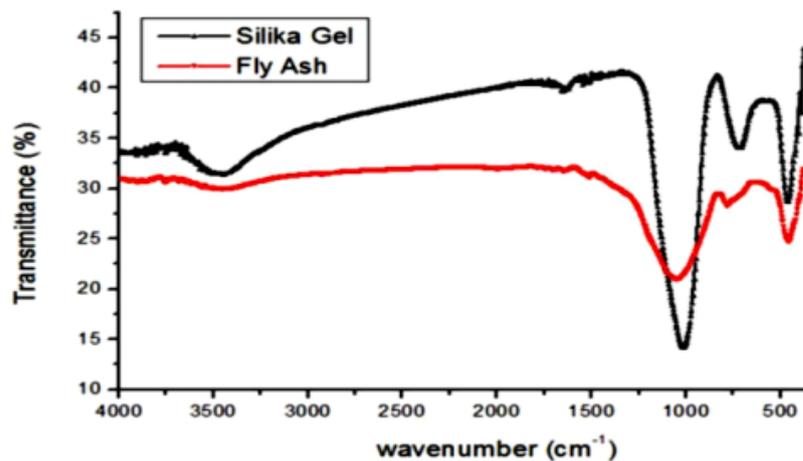
2.5 Karakterisasi Material

2.5.1 Spektrofotometer *Fourier Transform Infra Red* (FTIR)

FTIR adalah instrumen spektrometer yang menggunakan spektroskopi *infrared* (IR) untuk mengidentifikasi gugus fungsi pada sampel sehingga dapat memperkirakan struktur molekul. Molekul yang menyerap radiasi inframerah akan mengalami beberapa jenis vibrasi bergantung pada panjang gelombang dari jenis ikatan tertentu. Oleh karena itu, ikatan dalam molekul dapat menyerap energi pada lebih dari satu jenis panjang gelombang (Sari, 2010).

Prinsip kerja dari FTIR adalah sinar IR dilewatkan pada suatu sampel dan intensitas sinar yang ditranmisikan akan diukur oleh detektor pada masing-masing panjang gelombangnya. Informasi ini akan diteruskan ke alat perekam sehingga menghasilkan spektrum berupa gambar/grafik (Sari, 2010). Spektrum yang dihasilkan oleh setiap senyawa akan berbeda. Hal ini dikarenakan setiap molekul memiliki tingkat energi vibrasi molekuler yang berbeda-beda sehingga tidak ada daerah sidik jari molekul yang serupa. Faktor-faktor yang mempengaruhi frekuensi vibrasi adalah massa atom, penataan geometri, dan kekuatan ikatan kimia (Setianingsih, T., dan Prananto, 2020).

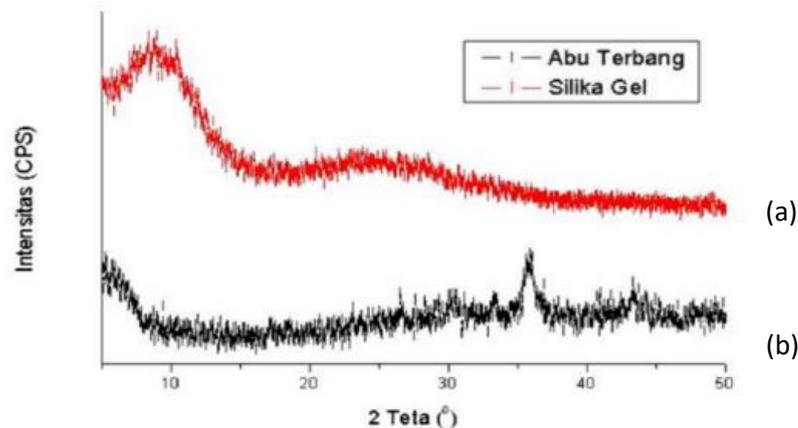
Karakterisasi menggunakan FTIR bertujuan untuk mengidentifikasi gugus fungsi silanol (Si-OH) dan siloksan (Si-O-Si) yang merupakan sisi aktif pada permukaan silika. Gambar 2.4 menunjukkan spektra FTIR yang mengidentifikasi gugus-gugus fungsional dalam silika gel dan *fly ash*. Vibrasi tekuk Si-O-Si, vibrasi ulur simetri Si-O dan vibrasi ulur asimetri Si-O berturut-turut muncul pada bilangan gelombang 462,93; 700 dan 1.016,52 cm^{-1} yang menunjukkan adanya kerangka Si-O-Si (siloksan). Puncak pada bilangan gelombang 3.453,34 cm^{-1} menunjukkan adanya vibrasi ulur -OH dan puncak pada bilangan gelombang 1.630 cm^{-1} yang menunjukkan adanya vibrasi bending dari Si-OH menunjukkan bahwa silika gel juga memiliki gugus Si-OH (silanol) (Aisah et al., 2018).



Gambar 2. 3 Spektra FTIR sintesis silika gel dan *fly ash* (Aisah et al., 2018)

2.5.2 X-Ray Diffraction (XRD)

XRD merupakan instrumen yang digunakan untuk mengkarakterisasi struktur, ukuran, komposisi, fase mineral, dan derajat kristalinitas dari suatu material. Data-data yang dihasilkan dari analisis menggunakan XRD berupa intensitas difraksi sinar-X yang terdifraksi pada sudut-sudut 2θ . Adapun prinsip kerja XRD yaitu sinar-X yang terdifraksi, berturut-turut dibentuk oleh atom-atom kristal dari material tersebut. Munculnya berbagai sudut yang timbul pada pola difraksi yang terbentuk menyatakan karakterisasi dari suatu sampel (Krisnawan, 2009). Analisis dengan menggunakan XRD sangat membantu untuk menentukan komposisi senyawa yang terkandung pada sampel.



Gambar 2. 4 Difraktogram XRD (a) silika gel dan (b) *fly ash* (Aisah et al., 2018)

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan oleh Aisah et al., 2018, silika gel hasil sintesis dari *fly ash* menghasilkan puncak pada sudut $2\theta = 5^\circ - 15^\circ$ dan $2\theta = 20^\circ - 30^\circ$. Hasil difraktogram untuk *fly ash* muncul pada sudut $2\theta = 31,36^\circ$ dan 44° dengan intensitas lemah. Hal ini menunjukkan bahwa masih banyak terkandung oksida-oksida logam. Puncak yang melebar menandakan bahwa silika gel hasil sintesis dalam kondisi amorf (Pertama et al., 2014).

2.5.3 X-Ray Fluorescence (XRF)

XRF adalah instrumen untuk menganalisis komposisi kimia beserta konsentrasi unsur-unsur yang terkandung dalam sampel dengan menggunakan metode spektrometri. Prinsip kerja XRF adalah foton dengan energi tinggi menembakan elektron pada kulit dalam sampel sehingga terjadi perpindahan elektron ke kulit luarnya. Kulit dalam menjadi tidak stabil karena kekosongan elektron sehingga menyebabkan elektron pada kulit di atasnya berpindah untuk mengisi kekosongan dengan mengemisikan sinar dengan energi yang besar (Suci, 2012).

Instrumentasi XRF menggunakan pengukuran energi dan panjang gelombang sinar X khas dari setiap atom untuk menganalisa setiap senyawa. Hasil XRF berupa spektrum hubungan energi eksitasi dan intensitas sinar X. Energi aktivasi menunjukkan unsur penyusun sampel dan intensitas menunjukkan nilai kualitas dari unsur tersebut. Semakin intensitasnya maka semakin tinggi pula

persentase unsur tersebut dalam sampel. Metode XRF akan memberikan nilai intensitas secara total dari unsur tertentu dalam semua bentuk senyawa (Saksono, 2002).

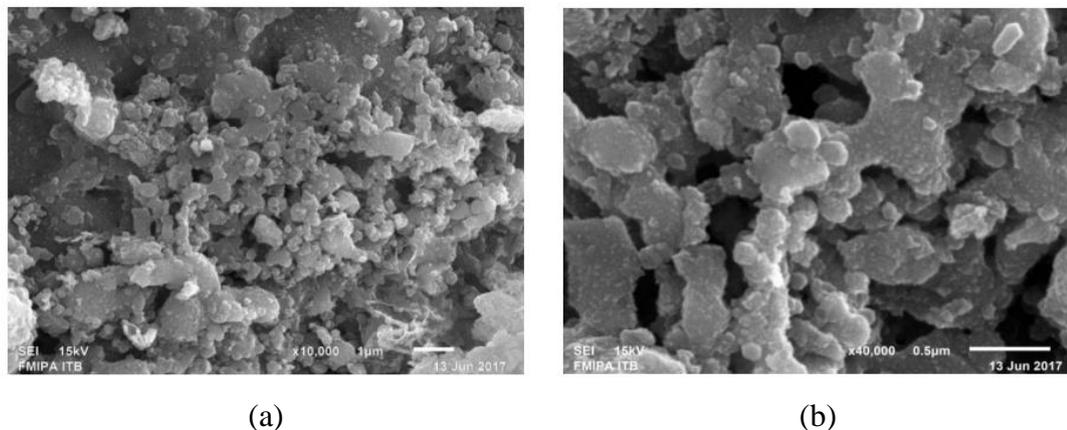
Tabel 2. 1 Hasil analisa XRF pada *fly ash* dan silika gel (Pratiwi et al., 2018)

Sampel	Parameter analisa (%)					Jumlah
	Fe ₂ O ₃	CaO	K ₂ O	SiO ₂	MnO	
<i>Fly ash</i>	33,665	29,075	1,781	35,240	0,240	100
Silika Gel	0,620	-	-	99,187	0,194	100

2.5.4 Scanning Electron Microscope-Energy Dispersive X-Ray (SEM-EDX)

SEM-EDX merupakan salah satu jenis mikroskop elektron yang menggunakan elektron untuk mencitrakan permukaan material serta memberikan informasi mengenai komposisi sampel yang dianalisis. Prinsip kerja SEM adalah menembakkan elektron berenergi tinggi pada permukaan benda yang akan dipantulkan kembali ke segala arah. SEM-EDX memiliki dua monitor. Detektor akan mendeteksi lokasi pantulan elektron sekunder dengan intensitas paling tinggi. Lokasi tersebut akan memberikan informasi profil permukaan benda sehingga dapat diolah menjadi gambar oleh monitor SEM dan monitor EDX mengubah informasi tersebut dalam bentuk grafik atau diagram persentase unsur-unsur dari sampel (Abdullah & Khairurrijal, 2009; Julinawati et al., 2015).

SEM memiliki resolusi yang lebih baik dibandingkan dengan mikroskop optik. Hal ini dikarenakan panjang gelombang de Broglie pada elektron lebih pendek dibandingkan panjang gelombang optik. Makin pendek panjang gelombang yang digunakan pada mikroskop maka makin tinggi resolusi yang dihasilkan. Oleh karena itu, SEM dapat melakukan pengamatan dan pengkajian morfologi material padatan berskala mikro dengan resolusi hingga 3 nm dan pembesaran hingga 1 juta kali dengan citra yang tajam (Kurniasari, 2017).



Gambar 2. 5 Hasil karakterisasi SEM *fly ash* (a) pembesaran 10.000 kali; (b) pembesaran 40.000 kali (Ningsih & Said, 2020)

	<i>Fly ash</i> (Chaidir et al., 2016)	Silika gel (Aisah et al., 2018)
C (%-w)	10.54	-
O (%-massa)	40.21	50,28
Na (%-massa)	0.31	3.27
Mg (%-massa)	0.68	-
Al (%-massa)	12.13	2.65
Si (%-massa)	16.53	43.21
K (%-massa)	1.75	-
Ca (%-massa)	1.63	-
Fe (%-massa)	16.16	-

Gambar 2.5 menunjukkan permukaan *fly ash* memiliki bentuk dan ukuran partikel yang tidak merata. Struktur bulat seperti bola merupakan hasil yang diharapkan pada pencitraan SEM karena merupakan struktur silika yang diinginkan (Chaidir et al., 2016). Hasil analisis EDX pada Tabel 2.2 menunjukkan bahwa *fly ash* memiliki komposisi unsur yang beragam. Unsur O, Si, Fe, Al, dan C merupakan unsur yang paling banyak terkandung di dalam *fly ash*. Sintesis silika gel dari *fly ash* yang dilakukan oleh Aisah et al., 2018 masih terdapat pengotor berupa Al dan Na. Unsur Al bersifat amfoter sehingga tidak dapat dihilangkan melalui pencucian dengan asam dan ekstraksi dengan NaOH. Sedangkan unsur Na merupakan produk samping NaCl dari hidrolisis dengan HCl yang tidak hilang saat proses pencucian (Aisah et al., 2018).