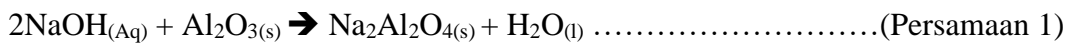


BAB II TINJAUAN PUSTAKA

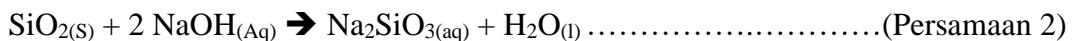
2.1 Penelitian Terdahulu

Bahan dasar zeolit berasal dari silika (Si) dan alumina (Al), Natrium Hidroksida (NaOH), asam klorida (HCl) dan aquades (H₂O). Fungsi NaOH dalam pembuatan zeolit sintesis bertindak sebagai aktivator dalam pembentukan natrium silika dan aluminat larut dalam air selama proses pemanasan (hidrotermal) sehingga pada proses inilah akan terjadi pembentukan inti kristal (Deviani, Mahatmanti dan Widiarti, 2018). Al berperan sebagai prekursor yang terhidrolisis dengan penambahan air dalam kondisi basa (NaOH) yang akan menghasilkan sol (tersuspensi dalam larutan), kemudian untuk membentuk natrium alumina dilakukan pencampuran aluminium foil dengan NaOH maka reaksi yang terjadi sebagai berikut:

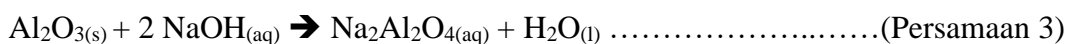


Proses kristalisasi terjadi secara berlanjut dimulai dari reaksi kondensasi yang terjadi pada proses transisi sol menjadi gel dan dilanjutkan dengan polimerisasi terjadinya reaksi pembentukan gel yang kaku, kuat (Widiawati, 2005). Menurut Kondru, dkk., (2011) proses hidrotermal berperan untuk pembentukan zeolit, reaksi hidrotermal yang terjadi secara keseluruhan sebagai berikut:

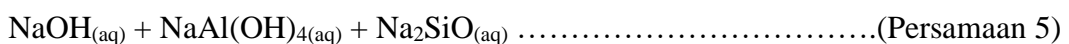
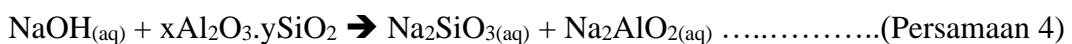
Reaksi pada saat pengambilan silika:



Reaksi pembuatan alumina:



Reaksi keseluruhan :



Suhu kamar \rightarrow $[\text{Na}_x(\text{AlO}_2)_y(\text{SiO}_2)_z.\text{NaOH}.\text{H}_2\text{O}](\text{gel})$ (fase gel-meta stabil)

Hidrotermal \rightarrow $\text{Nap}[(\text{AlO}_2)_p(\text{SiO}_2)_q.h\text{H}_2\text{O}]$ (fase stabil)

Proses tersebut terjadi penataan ulang oleh struktur sehingga menjadi susunan struktur yang teratur pada saat selesai pemanasan sehingga terbentuk kristal zeolit yang stabil Warsito, (2008) dalam skripsi Hamriani, (2021). Kristal zeolit yang didapatkan kemudian dibersihkan dengan akuades agar material yang lain hilang mulai dari pembentukan zeolit hingga mencapai pH 7-8 (Bahri, 2015), selanjutnya pengeringan yang berfungsi untuk menghilangkan air dan cairan yang tidak diperlukan oleh zeolit Kondru, dkk., (2011) dalam skripsi (Hamriani, 2021).

Penelitian tentang sintesis zeolit X yang telah dilakukan oleh Masoudian, dkk., (2013) dengan metode sol gel dari bahan *sodium silicate* menggunakan komposisi molar $4,5\text{Na}_2\text{O} : x \text{Al}_2\text{O}_3 : 3\text{SiO}_2 : 315\text{H}_2\text{O}$, selama 30 menit campuran dengan komposisi molar tersebut *distirrer*, lalu dieramkan pada suhu kamar selama 1 jam dan dikristalisasi pada suhu $75\text{ }^\circ\text{C}$ selama 4 jam dalam oven. Proses selanjutnya yaitu pengeringan terhadap padatan yang terbentuk dengan menggunakan oven selama semalam (12 jam) pada suhu $120\text{ }^\circ\text{C}$. Hasil yang diperoleh dari penelitian ini yaitu berupa zeolit X murni dengan rasio Si/Al 1,08.

Penelitian Bahri (2015) telah mensintesis zeolit X dari abu vulkanik menggunakan metode sol gel dengan variasi rasio molar Si/Al sebesar 1 ; 1,5 dan 2 dengan komposisi molar dengan mengacu dari penelitian Masoudian, dkk., (2013) yaitu $4,5\text{Na}_2\text{O} : x \text{Al}_2\text{O}_3 : 3\text{SiO}_2 : 315\text{H}_2\text{O}$, nilai $x = 1 ; 1,5$ dan 2. Kemudian diaduk dengan *stirrer* selama 30 menit lalu dieramkan selama 1 jam pada suhu ruang dan dikristalisasi pada suhu $75\text{ }^\circ\text{C}$ selama 4 jam dalam oven. Padatan yang terbentuk selanjutnya dikeringkan dalam oven selama semalam pada suhu $120\text{ }^\circ\text{C}$. Sebagai pembanding digunakan zeolit X yang disintesis dengan penambahan TEOS (*tetraethyl orthosilicate*) pada hasil rasio molar terbaik. Zeolit X hasil sintesis akan dianalisis kristalinitasnya menggunakan *X-Ray Diffraction* (XRD) dan *Fourier Transform Infra-Red* (FTIR) untuk mengetahui gugus fungsi zeolit X hasil sintesis. Analisis menggunakan XRD menunjukkan bahwa pada setiap rasio molar Si/Al 1; 1,5 dan 2 menghasilkan campuran zeolit X dan A. Zeolit X hasil sintesis mempunyai kristalinitas dan kemurnian tertinggi pada rasio molar Si/Al 1,5 sebesar 78,060 %. Analisis FTIR menunjukkan puncak-puncak yang muncul merupakan gugus fungsi dari kerangka zeolit. Puncak khas dari zeolit tipe faujasit yang terjadi

pada daerah bilangan gelombang 570- 576 cm^{-1} . Jarak antar partikel zeolit X rasio molar Si/Al 1; 1,5 dan 2 berturut-turut adalah 3,21292 Å; 3,16813 Å; dan 3,21066 Å. Ukuran kristal zeolit X rasio molar Si/Al 1; 1,5 dan 2 berturut-turut adalah 163,043 nm; 122,495 nm dan 163,052 nm. Penambahan bibit silika (TEOS) sebanyak 1 % pada rasio molar Si/Al 1,5 menyebabkan penurunan kemurnian zeolit X menjadi 67,185 % dan penurunan kristalinitas dari zeolit X. Jarak antar partikel dan ukuran kristal zeolit X rasio molar Si/Al 1,5 dengan penambahan TEOS adalah sebesar 3,19665 Å dan 163,095 nm.

Tabel 1. Ringkasan penelitian terdahulu

No	Nama Belakang Peneliti (Tahun)	Tujuan	Hasil	Perbedaan
1.	(Oktavianty dkk., 2021)	Untuk menghasilkan zeolit dengan rasio Si/Al yang tinggi dimana zeolit dibuat dengan memanfaatkan limbah pertanian, yaitu sekam padi sebagai sumber silika (Si) dan kaleng bekas sebagai sumber aluminium (Al), dengan variabel percobaan massa	Penyerapan ion logam Ca^{2+} dan Mg^{2+} yang optimal pada air sumur dihasilkan pada penggunaan 80 gr ekstrak sekam padi dan 2 gr kaleng bekas sebagai bahan baku pada pembuatan zeolit, yaitu sebesar 94,48% dan 89,26%. Dari hasil	- Jenis limbah yang digunakan (dalam penelitian tugas akhir akan digunakan daun nipah). - Penelitian Oktavianty, untuk sumber alumuniumnya berasal dari kaleng bekas sedangkan dalam penelitian tugas akhir ini akan

		<p>ekstrak sekam padi dan massa kaleng bekas. Setelah zeolit dihasilkan, dilakukan aplikasi pada penurunan kesadahan air.</p>	<p>difraktogram XRD didapatkan bahwa zeolit yang dihasilkan merupakan tipe zeolit Y.</p>	<p>digunakan alumunium foil bekas</p> <p>- Perbandingan silika alumina dari penelitian Oktavianty yaitu 40 : 1 sedangkan dalam penelitian tugas akhir ini akan digunakan variasi rasio molar Si/Al yaitu 1 dan 2.</p> <p>Karakterisasi dari penelitian Oktavianty yaitu analisis XRD sedangkan dalam penelitian tugas akhir ini yaitu XRF, SEM-EDX dan FTIR.</p>
2.	(Muis dkk., 2021)	<p>Untuk membuat dan mengkarakterisasi zeolit yang berasal dari ampas tebu</p>	<p>Zeolit sodalit yang dihasilkan dari variasi waktu hidrotermal 8 jam dengan</p>	<p>- limbah yang digunakan dalam penelitian tugas akhir yaitu daun nipah).</p>

		<p>dengan menggunakan XRD dan SEM-EDX kemudian akan diaplikasikan pada penyerapan ion logam Pb^{2+}.</p>	<p>bentuk kristal kubik berukuran kecil saling berikatan membentuk geometri memanjang. Kemampuan adsorpsi dari zeolit sintetis yang dihasilkan diuji dengan menggunakan ion logam Pb^{2+}. Kapasitas adsorpsi yang dihasilkan adalah 17,5485 mg/g.</p>	<p>- Sedangkan penelitian Muis untuk sumber alumuniumnya berasal dari $Al(OH)_3$. - Dalam tugas akhir akan digunakan alumunium foil bekas sebagai sumber aluminanya. - Suhu yang digunakan dalam proses kristalisasi dalam penelitian muis yaitu $150^{\circ}C$ dengan variasi waktu selama 8 jam, 16 jam dan 24 jam. Sedangkan dalam penelitian tugas akhir ini yaitu dikristalisasi menggunakan hidrotermal</p>
--	--	---	---	--

				<p>selama 8 jam pada suhu 150 °C.</p> <p>- Karakterisasi penelitian muis yaitu analisis XRD, XRF dan SEM sedangkan dalam penelitian tugas akhir ini yaitu XRF, SEM-EDX dan FTIR.</p>
3.	(Joseph dkk., 2020)	<p>Untuk sintesis FAU - jenis zeolit dari batubara Y ash (CFA) melalui fusi – metode hidrotermal dan aplikasi zeolit sintesis yang dihasilkan untuk menyerap Cu(II), Cd(II), Pb(II), Co(II), dan Zn(II).</p>	<p>Luas permukaan zeolit FAU dari batu bara yang diuji dengan BET yaitu sebesar 432 m²/g. Zeolit FAU dari batubara y dapat menghilangkan logam berat dalam larutan air yaitu mampu menyerap Pb(II), Cu(II), Cd(II), Zn(II), dan Co(II) berturut</p>	<p>- Limbah yang digunakan dalam tugas akhir yaitu daun nipah dan alumunium foil bekas.</p> <p>- Dalam penelitian Joseph Sumber Al dalam sintesis zeolit yaitu <i>fly ash</i>.</p> <p>- Suhu yang digunakan dalam proses kristalisasi</p>

			<p>turut sebesar 109,9 mg/g, 57,8 mg/g, 53,5 mg/g, 36,8 mg/g, dan 12,2 mg/g.</p>	<p>zeolit sintesis dalam penelitian Joseph yaitu 600 °C selama 3 jam.</p> <p>- Dalam penelitian tugas akhir ini yaitu dikristalisasi menggunakan <i>hydrothermal</i> pada suhu 150°C selama 8 jam.</p> <p>- Karakterisasi dari penelitian Joseph yaitu analisis XRD, XRF dan SEM Sedangkan dalam penelitian ini yaitu XRF, SEM-EDX dan FTIR.</p>
4.	(Deviani dkk., 2018)	<p>untuk mensintesis (dengan metode hidrotermal) dan mengkarakterisasi zeolit berbahan</p>	<p>Hasil penelitian menunjukkan bahwa zeolit dengan metode hidrotermal</p>	<p>- Limbah yang digunakan dalam tugas akhir yaitu daun nipah.</p>

		<p>dasar abu sekam padi.</p>	<p>dapat menghasilkan zeolit yang mempunyai struktur mirip zeolit Y, terdiri dari campuran kristal faujasite, kabasite, dan cancrinite.</p>	<p>- Dalam penelitian Deviani untuk sumber alumuniumnya berasal dari aluminat (Al_2O_3), sedangkan dalam penelitian tugas akhir ini akan digunakan alumunium foil bekas sebagai sumber aluminanya.</p> <p>- Penelitian Deviani tidak dilakukan aplikasi dari produk zeolit sintesis namun dalam penelitian tugas akhir ini akan dilakukan aplikasi dari produk zeolit sintesis yang dihasilkan.</p>
--	--	------------------------------	---	--

5.	(Thuadaj dan Mukda, 2016)	Untuk mensintesis zeolit dari abu ampas tebu dan kaolinit Narathiwat. Serta untuk mengetahui Konsentrasi optimum dari aktivator NaOH yang digunakan dalam sintesis zeolit	Produk yang dihasilkan adalah zeolit Na-P dan nilai Kapasitas tukar kation (KTK) yang tinggi menunjukkan 351 meq/100g. Kondisi reaksi optimum konsentrasi NaOH pada 3 M selama 10 jam waktu kristalisasi.	<ul style="list-style-type: none"> - Limbah yang digunakan dalam tugas akhir yaitu limbah daun nipah alumunium foil bekas. - Proses pengabuan ampas tebu dari penelitian Thuadaj yaitu pada suhu 110 °C selama 3 jam. Sedangkan dalam penelitian ini yaitu pada suhu 750 °C selama 3 jam. - Suhu yang digunakan dalam proses kristalisasi zeolit sintesis dalam penelitian Thuadaj yaitu 110⁰C selama 8 jam. Sedangkan
----	---------------------------	---	---	--

				<p>dalam penelitian tugas akhir ini yaitu dikristalisasi menggunakan hydrothermal pada suhu 150 °C selama 8 jam.</p> <p>- Thuadaj tidak dilakukan aplikasi dari produk zeolit sintesis yang dihasilkan namun dalam penelitian tugas akhir ini akan dilakukan aplikasi dari produk zeolit sintesis yang dihasilkan untuk proses adsorpsi pada limbah cair sisa uji COD.</p>
6.	(Bahri, 2015)	1. Untuk mengetahui karakter zeolit X dari abu vulkanik	Zeolit X hasil sintesis mempunyai kristalinitas dan	- Jenis limbah tugas akhir (daun nipah sebagai sumber

		<p>hasil sintesis dari abu vulkanik Gunung Kelud menggunakan metode sol-gel dengan variasi rasio molar Si/Al.</p> <p>2. Untuk mengetahui karakter zeolit X hasil sintesis dengan penambahan bibit silika menggunakan metode sol-gel.</p>	<p>kemurnian tertinggi pada rasio molar Si/Al 1,5 sebesar 78,060 %. Jarak antar partikel zeolit X rasio molar Si/Al 1; 1,5 dan 2 berturut-turut adalah 3,21292 Å; 3,16813 Å; dan 3,21066 Å. Ukuran kristal zeolit X rasio molar Si/Al 1; 1,5 dan 2 berturut-turut adalah 163,043 nm; 122,495 nm dan 163,052 nm. Penambahan bibit silika (TEOS) sebanyak 1 % pada rasio molar Si/Al 1,5 menyebabkan penurunan kemurnian zeolit X menjadi</p>	<p>Si dan alumunium foil bekas sebagai sumber Al).</p> <p>- Bahri, (2015), untuk sumber aluminat yaitu (Al₂O₃) dan silika yang terkandung dalam abu vulkanik.</p> <p>- Penelitian Bahri, (2015) tidak dilakukan aplikasi dari produk zeolit sintesis.</p> <p>- Penelitian tugas akhir akan dilakukan aplikasi dari produk zeolit sintesis yang dihasilkan untuk proses adsorpsi dalam limbah cair sisa uji COD.</p>
--	--	--	---	---

			67,185 % dan penurunan kristalinitas dari zeolit X. Jarak antar partikel dan ukuran kristal zeolit X rasio molar Si/Al 1,5 dengan penambahan TEOS adalah sebesar 3,19665 Å dan 163,095 nm.	
7.	(Masoudian, dkk., 2013)	Untuk mensintesis zeolit X dengan metode sol-gel dari bahan <i>sodium silicate</i> menggunakan komposisi molar 4,5 Na ₂ O: 1 Al ₂ O ₃ : 3 SiO ₂ : 315 H ₂ O.	Hasil yang diperoleh dari penelitian ini berupa zeolit X murni dengan rasio Si/Al sebesar 1,08.	- Sumber silika dalam penelitian Masoudian menggunakan <i>sodium silicate</i> sedangkan dalam penelitian tugas akhir menggunakan abu daun nipah. - Penelitian Masoudian, untuk sumber alumuniumnya berasal dari

				<p>Al(OH)₃. sedangkan dalam penelitian tugas akhir akan digunakan aluminium foil bekas sebagai sumber aluminanya.</p> <p>- Penelitian Masoudian rasio molar Si:Al hanya 3:1. Sedangkan untuk penelitian dalam tugas akhir terdapat variasi rasio molar Si:Al yaitu 3:1 dan 3:2.</p> <p>- Penelitian Masoudian tidak dilakukan aplikasi dari produk zeolit sintesis namun dalam penelitian tugas akhir akan</p>
--	--	--	--	---

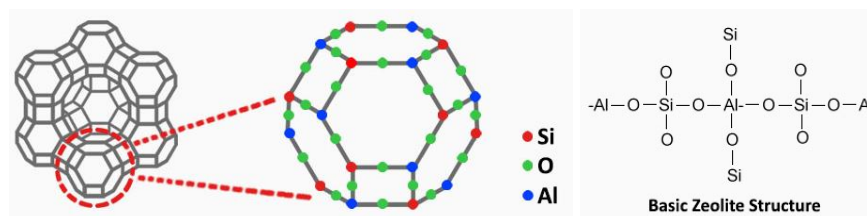
				dilakukan aplikasi dari produk zeolit sintesis yang dihasilkan.
--	--	--	--	---

Berdasarkan tabel 1 ringkasan penelitian terdahulu diatas dapat disimpulkan bahwa dalam penelitian tugas akhir ini terdapat kebaruan atau belum ada penelitian serupa sebelumnya. Bahan baku utama dalam penelitian tugas akhir ini akan digunakan daun nipah sebagai sumber silika dan alumunium foil bekas sebagai sumber Al dalam pembuatan zeolit sintesis. Penentuan komposisi dalam pembuatan zeolit sintesis ini didasarkan pada penelitian Penelitian Bahri (2015) yang telah mensintesis zeolit X dari abu vulkanik dengan variasi rasio molar Si/Al sebesar 1 ; 1,5 dan 2. Komposisi molar tersebut didasarkan pada penelitian Masoudian, dkk., (2013) yaitu $4,5\text{Na}_2\text{O} : x \text{Al}_2\text{O}_3 : 3\text{SiO}_2 : 315\text{H}_2\text{O}$, nilai $x = 1 ; 1,5$ dan 2.

2.2 Teori - teori yang relevan

2.2.1 Zeolit

Suatu tahapan proses hidrotermal yang terjadi pada batuan beku basa dan menghasilkan suatu kelompok mineral tertentu disebut sebagai zeolit (Mahaddilla dan Putra, 2013). Rumus umum komposisi zeolit yaitu $M_{x/n}[(\text{AlO}_2)_x(\text{SiO}_2)_y] m \text{H}_2\text{O}$ dengan n merupakan valensi kation M (alkali/ alkali tanah), x dan y merupakan jumlah tetrahedron per unit sel, m merupakan jumlah molekul air per unit sel, dan M merupakan kation alkali/alkali tanah. Berikut merupakan gambar struktur pori yang terdapat di dalam zeolit.

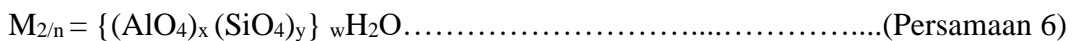


Gambar 1. Struktur kerangka zeolit

Sumber : Rota Mining Corporation, (2022)

Gambar 1 diatas merupakan struktur kristal zeolit yang berbentuk sangkar dan mengandung atom Al dan Si yang saling berikatan dengan empat atom oksigen dalam bentuk *Tetrahedra Alumino Silicat*, sehingga atom Al akan bermuatan negatif dan selalu dinetralkan oleh kation alkali atau alkali tanah untuk membentuk struktur sangkar zeolit yang stabil (Suminta, 2006).

Rumus umum zeolit secara *crystallographic* dalam unit sel yaitu sebagai berikut (Suminta, 2006):



M adalah kation yang dapat dipertukarkan, n adalah valensi, (x + y) adalah jumlah tetrahedra dalam unit sel dan W adalah jumlah molekul air dalam unit sel (Suminta, 2006). Zeolit adalah magnet yang dapat menahan kation, seperti logam berat, amonia, unsur radioaktif tingkat rendah, racun, berbagai bau, petrokimia, berbagai jenis gas, dan berbagai macam larutan. Ini adalah spons yang sangat berpori dengan luas permukaan yang besar yang dapat menyerap air hingga 40% dari beratnya.

Terdapat dua jenis zeolit yaitu zeolit alam dan zeolit sintetis dimana kedua zeolit tersebut memiliki banyak perbedaan diantaranya yaitu ion yang terkandung dalam zeolit alam seperti Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ dan Na^+ . Perbandingan alumina dan silika zeolit sintetis yaitu 1 : 1 dan untuk zeolit alam, perbandingan silika dan alumina yaitu 5 : 1, serta untuk zeolit sintetis memiliki nilai ekonomi tinggi jika dibandingkan dengan zeolit alam (Ferdiansyah, 2020). Silika gel, zeolit buatan dan karbon aktif merupakan kegunaan dari zeolit sintetis dimana penerapan penggunaannya sama seperti zeolit alam (Mahaddilla dan Putra, 2013).

2.2.2 Jenis Zeolit Sintesis

Berikut merupakan tabel 2 terkait jenis-jenis zeolit dan penerapannya :

Tabel 2. Zeolit Sintetis dan Penerapannya

Jenis zeolit	Penerapan
Zeolit X	Sifat adsorpsi optimum, pertukaran ion besi dan mg (Sekarini, 2009). <i>Catalytic cracking</i> (FCC) dan <i>hydrocracking</i> , untuk mereduksi NO ₂ , NO dan CO ₂ (Mahaddilla dan Putra, 2013).

Jenis zeolit	Penerapan
Zeolit Y	Removal, pemisah fruktosa-glukosa, pemisah N ₂ di udara, dan digunakan sebagai bahan pendingin kering
Zeolit US-Y	Memisahkan monosakarida
Zeolit A	Pengering olin, pengkonsentrasi alkohol, pembersih CO ₂ dari udara dan bahan gas alam padat
Zeolit ZSM-5	<i>Dewaxing</i> , produksi <i>synfuel</i> , mensintesis <i>ethylbenzene</i>
Linde Zeolit-A	Bubuk pembersih untuk memindahkan ion Mg dan Ca

Sumber: Mahaddilla dan Putra, (2013)

Satu dari beberapa zeolit yang tergolong dalam kadar Si/Al rendah yaitu Zeolit Lynde Type-A (LTA) dengan kegunaan sebagai katalis, penukar ion, katalis, adsorben maupun *molecular sieve* (Ginting dkk., 2019). Satu dari beberapa tipe zeolit sintetis yaitu zeolit-A yang mengandung komposisi mineral Na₁₂[(AlO₂)₁₂(SiO₂)₁₂].27H₂O dimana nilai rasio Si/Al dari zeolit tipe ini rendah sehingga penerapannya digunakan dalam peningkatan kualitas air dengan metode pengurangan kesadahan, sebagai penukar ion dan paling sering digunakan dalam pengolahan limbah cair (Saraswati, 2015).

Faktor yang paling berpengaruh pada kualitas zeolit sebagai katalis, penukar ion dan sebagai penyerap yaitu terletak pada perbandingan Al dan Si, berikut klasifikasi zeolit sintetis berdasarkan kadar Si nya (Mahaddilla dan Putra, 2013) :

- 1) Zeolit sintetis dengan kadar Si rendah

Karakteristik fisik dari zeolit jenis ini yaitu pori-porinya memiliki volume 0,5 cm³ tiap cm³ volume zeolit, mengandung banyak Al, efektif dalam pemisahan untuk kapasitas yang besar sehingga memiliki nilai ekonomi yang tinggi.

- 2) Zeolit sintetis dengan kadar Si sedang.

Satu dari beberapa contoh zeolit sintetis dengan kadar Si sedang yaitu omega dengan perbandingan Si/Al 2 hingga 5.

- 3) Zeolit sintetis dengan kadar Si tinggi

Penerapan zeolit jenis ini dapat digunakan sebagai katalisator asam untuk hidrokarbon karena sifat dari zeolit ini dapat menyerap molekul non polar dan

sangat higroskopis. Beberapa contoh dari zeolit jenis ini di antaranya yaitu ZSM-21, ZSM-5, ZSM-24 dan ZSM-11.

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan Muis dkk. (2021) menyatakan bahwa sintesis zeolit yang berasal dari ampas tebu menghasilkan zeolit sodalit dengan bentuk kristal kubik berukuran kecil membentuk geometri memanjang dan saling berikatan yang dihasilkan dari variasi waktu hidrotermal 8 jam pada temperatur 150 °C. Abu rumput gajah diisolasi menggunakan NaOH menghasilkan kandungan silika dengan persentase sebesar 71,91 % (Setiadji dkk., 2017). Zeolit dengan rasio 15:15 dari batu apung dikarakterisasi menggunakan difraktometer sinar-X (XRD) menghasilkan jenis zeolit A (Mahaddilla dan Putra, 2013).

2.2.3 Nipah (*Nypa fructicans*)

Satu dari beberapa spesies utama sebagai penyusun hutan mangrove yang keberadaannya disekitar sungai dan pengaruhi oleh pasang surut air laut disebut sebagai nipah (*Nypa fructicans*) (Rezki dkk., 2020). Silika yang terkandung dalam kulit buah nipah lebih tinggi jika dibandingkan dengan arang alaban (Novrizal dan Ulfah, 2018). Menurut Endro dkk (2011), pemanfaatan nipah dapat digunakan sebagai sumber daya pangan yang terdapat dari buah nipah muda dan buah nipah tua, lebih lanjut dijelaskan bahwa pohon nipah dapat dapat berbuah dengan rata-rata 3,55 bonggol/pohon, 2,83 bonggol buah nipah tua dan 0,76 bonggol buah nipah muda/pohon, setiap bonggol rata-rata berisi 65 buah nipah, jumlah buah nipah dalam 1 ha rata-rata 196.120 buah, dalam 1 ha tegakan nipah dapat menghasilkan 1,89 ton buah muda nipah semacam kolang kaling dan 3,27 ton tepung nipah. Pemanfaatan tumbuhan nipah juga dapat digunakan sebagai sumber daya pangan dari buah nipah itu sendiri yang mampu menghasilkan tepung dengan rata-rata berat 100 daging buah nipah adalah 3.489 g dan dari jumlah tersebut 1.622 g tepung nipah atau sebesar 46,39% potensi tepung per hektar sebesar 1,19 ton/ha (Heriyanto dkk. 2011). Limbah daun nipah dapat dilihat pada gambar berikut:



Gambar 2. Limbah Daun nipah. Sumber: (dokumen pribadi)

Kandungan silika daun nipah lebih besar yaitu 0,8 %, jika dibandingkan dengan serabut, pelepah, dan tempurung nipah dengan kandungan Si secara berturut-turut yaitu 0,4 %, 0,5 % dan 0,3 % (Tamunaidu dan Saka, 2011). Dalam penelitian skripsi ini akan digunakan daun nipah sebagai sumber silika dalam pembuatan zeolit sintesis karena kandungan silikanya lebih besar jika dibandingkan dengan serabut, pelepah dan tempurung nipah. Berikut merupakan klasifikasi tanaman nipah (*Nypa fruticans*) :

Kingdom : Plantae
 Divisi : Magnoliophyta
 Klas : Liliopsida
 Ordo : Arecales
 Family : Arecaceae
 Genus : *Nypa*
 Spesis : *Nypa fruticans* Wurm

Karakteristik kulit sabut buah nipah hampir mirip dengan sabut kelapa (Radam dkk., 2018). Berikut merupakan tabel komposisi kimia dari abu sawit (% berat). Berikut merupakan tabel 3 yaitu komposisi unsur kimia abu sawit (%):

Tabel 3. Komposisi Unsur Kimia Abu Sawit (% berat)

Unsur/ senyawa	<i>Fiber</i>	Cangkang
Kalium (K)	9,2	7,5
Natrium (Na)	0,5	1,1
Kalsium (Ca)	4,9	1,5

Unsur/ senyawa	Fiber	Cangkang
Klor (Cl)	2,5	2,8
Karbonat (CO ₃)	2,6	1,9
Nitrogen (N)	0,04	0,05
Posfat (P)	1,4	0,9
Silika (SiO ₂)	59,1	61

Sumber : Zahrina, (2007)

2.2.4 Alumunium Foil

Alumunium merupakan satu dari beberapa jenis material yang terdapat disekitar dan ketersediannya melimpah seperti dalam bentuk kaleng minuman, komponen elektronik, perabot rumah tangga, siku scrap beberapa jenis bahan bangunan dan beberapa jenis makanan menggunakan alumunium foil sebagai kemasannya (Rosyidah dan Purwanti, 2016). Oksida amfoter dengan rumus kimia Al₂O₃ disebut sebagai alumunium oksida, hal ini umumnya disebut sebagai alumina atau korundum dalam bentuk kristalnya (Widyabudiningsih dan Widiastuti, 2015). Alumunium sering digunakan sebagai kemasan/ pembungkus makanan dan minuman dalam suatu industri seperti kaleng minuman ringan, kaleng untuk buah atau manisan buah, cetakan kue yang dilapisi alumunium foil dan alumunium foil yang langsung digunakan untuk pembungkus makanan (Widyabudiningsih dan Widiastuti, 2015). Bungkus alumunium hanya digunakan untuk sekali pakai dan akan menjadi sampah apabila telah terbuang di lingkungan, sehingga perlu adanya suatu upaya untuk mengolah sampah tersebut dengan cara mengambil kembali (*recovery*) kandungan alumunium foil yang terdapat dalam kemasan tersebut dalam bentuk alumina (Al₂O₃) sehingga dapat digunakan kembali sebagai logamnya atau sebagai senyawa alumuniumnya (Widyabudiningsih dan Widiastuti, 2015). Kandungan persen alumunium (%) dalam alumunium foil berdasarkan penelitian dari Widyabudiningsih dan Widiastuti, (2015) yaitu 74,98 %, kaleng sebesar 69,80 %, cetakan kue sebesar 91,13 %, *pie pans* sebesar 81,28 %, *pizza pans* sebesar 93,39 % dan *loaf pans* sebesar 74,97 %. Berikut merupakan gambar alumunium foil bekas

praktikum mahasiswa D-IV Teknik Pengendalian Pencemaran Lingkungan Politeknik Negeri Cilacap :



Gambar 3. Alumunium foil bekas. Sumber (dokumen pribadi)

2.2.5 Karakteristik Zeolit

Terdapat 2 cara yang dapat dilakukan dalam proses aktivasi zeolit diantaranya yaitu secara fisika melalui kalsinasi (pemanasan) sehingga luas permukaan dari zeolit akan bertambah karena pada proses kalsinasi ini proses penguapan air yang terjebak di dalam pori-pori kristal zeolit. Aktivasi zeolit juga dapat dilakukan secara kimia yaitu dengan penambahan NaOH dan H₂SO₄ sehingga permukaan pori-pori kristal zeolit menjadi bersih, letak atom yang dipertukarkan dapat tertata kembali dan dapat menghilangkan senyawa pengotor (Ferdiansyah, 2020). Berikut merupakan tabel 5 yaitu karakterisasi zeolit :

Tabel 4. Karakteristik Zeolit

<i>Density</i>	1,1 g/cc
Porositas	23-31%
Volume berpori	0,28-3 cc/g
<i>Surface area</i>	1-20 m ² /g
Jari-jari makropori	30-100 nm
Jari-jari mikropori	0,5 nm

Sumber : Ferdiansyah, (2020)

Bentuk zeolit dipasaran (gambar 4) ada yang berupa serbuk/ *powder*, padatan seperti batu dan lain-lain berikut merupakan bentuk zeolit komersial yang ada di pasaran:



Gambar 4. Zeolit komersial dipasaran

(Sumber : <https://indonesian.catalystzeolite.com>)

2.2.6 Sifat Kimia dan Fisika Zeolit

Halimantun Hamdan (1992) mengemukakan bahwa zeolit merupakan suatu mineral berupa kristal silika alumina yang terdiri dari tiga komponen yaitu kation yang dapat dipertukarkan, kerangka alumina silikat dan air. Air yang terkandung dalam pori tersebut dapat dilepas dengan pemanasan pada temperatur 300 hingga 400 °C. Pemanasan pada temperatur tersebut air dapat keluar dari pori-pori zeolit, sehingga zeolit dapat berfungsi sebagai penyerap gas atau cairan (Sutarti, 1994). Jumlah air yang terkandung dalam zeolit sesuai dengan banyaknya pori atau volume pori. Zeolit banyak ditemukan dalam batuan Kerangka dasar struktur zeolit terdiri dari unit-unit tetrahedral AlO_4^{2-} dan SiO_4^- yang saling berhubungan melalui atom O dan di dalam struktur, Si^{4+} dapat diganti dengan Al^{3+} . Ikatan Al-O-Si membentuk struktur kristal sedangkan logam alkali tau alkali tanah merupakan sumber kation yang dapat dipertukarkan (Sutarti,1994). Kerangka struktur tiga dimensi senyawa alumina silikat terdiri atas dua bagian, yaitu bagian netral dan bagian bermuatan. Bagian netral semata- mata dibangun oleh silikon dan oksigen dan jenisnya bervariasi antara SiO_4^{4-} sampai SiO_2 dengan perbandingan Si:O dari 1:4 sampai 1:2. Bagian bermuatan dibangun oleh ion aluminium yang kecil dan oksigen. Dalam bagian ini terjadi penggantian ion pusat silikon bervalensi empat dengan kation aluminium yang bervalensi tiga, sehingga setiap penggantian ion

silikon dan ion aluminium memerlukan satu ion logam alkali atau alkali tanah yang monovalen atau setengah ion logam divalen, seperti : Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Ba^{2+} , Sr^{2+} , dan lain-lain untuk menetralkan muatan listriknya. Rasio Si/Al dalam Zeolit Beberapa penelitian menunjukkan bahwa kerangka tetrahedral dari zeolit tidak stabil terhadap asam atau panas. Selain itu diketahui bahwa zeolit mordenit yang mempunyai perbandingan Si/Al = 5 adalah sangat stabil. Maka diusahakan untuk membuat zeolit dengan kadar Si yang lebih tinggi dari satu yang kemudian diperoleh zeolit Y dengan perbandingan kadar Si/Al antara 1-3. Contoh zeolit Si sedang adalah zeolit Omega (sintetis) sedangkan zeolit alam yang termasuk jenis ini adalah mordenit, erionit dan klinoptilolit. (Lestari, 2010).

2.2.7 Struktur Kimia dan Topologi Kerangka Zeolit

Untuk menggambarkan hubungan antara komposisi kimia dan susunan zeolit secara ideal adalah : $\text{M}_{x/n} [(\text{AlO}_2)_x (\text{SiO}_2)_y] \cdot m \text{H}_2\text{O}$ dimana M adalah ion logam, x, y, m adalah bilangan tertentu dan n adalah muatan dari ion logam. Rumusan diatas menunjukkan struktur satu unit sel dari zeolit dan bagian di dalam kurung menunjukkan komposisi kerangka zeolit, y/x berkisar 1 sampai 5. Zeolit yang kaya akan aluminium akan lebih besar mengadsorpsi air dibanding hidrokarbon, akan tetapi pada zeolit yang kaya akan silikat akan terjadi hal yang sebaliknya (Muchtari, 2005).

2.2.8 Adsorpsi

Adsorpsi (penjerapan) adalah proses pemisahan dimana komponen tertentu dari suatu fase fluida berpindah ke permukaan zat padat (Andriyani, 2015). Permukaan padatan disebut sebagai adsorben, sedangkan gas atau uap disebut sebagai adsorbat. Menurut Tandi (2012), proses adsorpsi dapat terjadi karena adanya gaya tarik atom atau molekul pada permukaan padatan yang tidak seimbang. Adanya gaya ini, padatan cenderung menarik molekul-molekul lain yang bersentuhan dengan permukaan padatan, baik fasa gas atau fasa larutan kedalam permukaannya. Akibatnya konsentrasi molekul pada permukaan menjadi lebih besar dari pada dalam fasa gas zat terlarut dalam larutan. Pada adsorpsi interaksi antara adsorben dengan adsorbat hanya terjadi pada permukaan adsorben. Faktor-

faktor yang dapat mempengaruhi proses adsorpsi secara umum yaitu (Syauqiah, Amalia and Kartini, 2011) :

1. Luas permukaan

Luas permukaan adsorben yang semakin luas, maka zat yang teradsorpsi semakin banyak. Ukuran partikel dan jumlah dari adsorben akan menentukan permukaan dari adsorben itu sendiri.

2. Jenis adsorbat

Polarisabilitas adsorbat yang meningkat akan meningkatkan kemampuan adsorpsi molekul yang memiliki polarisabilitas yang tinggi (polar). Kemampuan tersebut berupa Tarik menarik terhadap molekul lain jika dibandingkan dengan molekul yang tidak dapat membentuk dipol (non polar). Adsorbat yang mengalami peningkatan pada berat molekulnya dapat meningkatkan kemampuan adsorpsinya. Biasanya adsorbat dengan rantai yang bercabang lebih mudah diadsorpsi jika dibandingkan dengan rantai yang lurus.

3. Struktur molekul adsorbat Kemampuan penyisihan pada proses adsorpsi yang turun disebabkan oleh Hidroksil dan amino sedangkan meningkatnya kemampuan penyisihan disebabkan oleh Nitrogen.

4. Konsentrasi adsorbat

Konsentrasi adsorbat yang semakin besar dalam larutan akan semakin memperbanyak jumlah substansi yang terkumpul pada permukaan adsorben.

5. Temperatur

Pengaktifan atau pemanasan adsorben akan meningkatkan daya serap adsorben terhadap adsorbat. Pengaktifan ini dapat menyebabkan pori-pori adsorben lebih terbuka. Rusaknya adsorben yang dapat menurunkan proses penyerapan disebabkan oleh pemanasan yang terlalu tinggi.

6. pH

Kelarutan ion terhadap logam, aktivitas gugus fungsi pada biosorben dan kompetisi ion logam dalam proses adsorpsi dapat dipengaruhi oleh pH larutan.

7. Kecepatan pengadukan

Pengadukan yang terlalu lambat dapat memperlambat proses adsorpsi yang sedang berlangsung. Pengadukan yang terlalu cepat juga akan memungkinkan

cepat rusaknya struktur pada adsorben sehingga proses adsorpsi menjadi kurang optimal.

8. Waktu kontak

Penentuan waktu kontak yang menghasilkan kapasitas adsorpsi maksimum terjadi pada waktu kesetimbangan.

9. Waktu kesetimbangan dipengaruhi oleh:

- Tipe biomasa (jumlah dan jenis ruang pengikatan).
- Ukuran dan fisiologi biomasa (aktif atau tidak aktif).
- Ion yang terlibat dalam system biosorpsi.
- Konsentrasi ion logam.

10. Porositas

Porositas pada adsorben dapat mempengaruhi daya adsorpsi dari suatu adsorben. Adsorben dengan porositas yang besar mempunyai kemampuan menjerap lebih tinggi jika dibandingkan dengan adsorben yang memiliki porositas kecil. Proses aktivasi secara fisika seperti mengalirkan uap air panas ke dalam pori-pori adsorben atau mengaktivasi secara kimia dapat meningkatkan porositas suatu adsorben.

2.2.9 Limbah Cair Hasil Uji COD

Limbah laboratorium kimia mengandung bahan-bahan kimia dan logam-logam berat misalnya Fe, Hg, Cr dan lainnya yang bersifat racun (toksik) sehingga aliran buangan limbah laboratorium akan membahayakan lingkungan dan makhluk hidup disekitarnya jika tidak dilakukan pengolahan limbah terlebih dahulu (Azamia, 2012). Satu dari beberapa sumber limbah cair laboratorium dapat berasal dari hasil kegiatan pengujian *Chemical Oxygen Demand* (COD). Berdasarkan Standar Nasional Indonesia (SNI) 6989.73:2019 Tentang Air dan Air limbah – Bagian 73 Cara Uji Kebutuhan Oksigen Kimiawi (*Chemical Oxygen Demand*/COD) dengan Refluks tertutup secara titrimetri yaitu dengan menimbang 19,6 gram $\text{Fe}(\text{NH}_4)_2(\text{SO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ untuk membuat larutan baku Ferro Ammonium Sulfat (FAS) 0,05 N. Baku mutu kandungan logam berat Fe dalam limbah cair sisa uji COD didasarkan dalam Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Republik Indonesia Nomor 5 Tahun 2014 Tentang Baku Mutu Air Limbah Bagi Usaha

Dan/Atau Kegiatan Yang Belum Memiliki Baku Mutu Air Limbah Yang Ditetapkan dengan nilai Fe kategori golongan 1 yaitu 5 ppm (apabila BOD < 1500 ppm dan COD < 3000 ppm) dan golongan 2 yaitu 10 ppm (apabila BOD > 1500 ppm dan/atau COD > 3000 ppm). Baku mutu limbah cair laboratorium kimia dapat mengacu pada Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Republik Indonesia Nomor 5 Tahun 2014 Tentang Baku Mutu Air Limbah Bagi Usaha Dan/Atau Kegiatan Yang Belum Memiliki Baku Mutu Air Limbah Yang Ditetapkan. Dengan ketentuan apabila kandungan BOD < 1500 pmm dan COD < 3000 ppm maka termasuk kategori air limbah golongan 1 dan apabila kandungan BOD >1500 ppm dan COD > 3000 ppm maka termasuk kategori air limbah golongan 2. Berikut merupakan tabel 6 yaitu PERMEN Lingkungan Hidup RI Nomor 5 Tahun 2014 Baku Mutu Limbah Bagi Usaha Dan/Atau Kegiatan Yang Belum Memiliki Baku Mutu Air Limbah Yang Ditetapkan:

Tabel 5. PERMEN Lingkungan Hidup RI Nomor 5 Tahun 2014

Baku Mutu Limbah Bagi Usaha Dan/Atau Kegiatan Yang Belum Memiliki Baku Mutu Air Limbah Yang Ditetapkan

Parameter	Satuan	Golongan	
		I	II
Temperatur	°C	38	40
Zat padat larut (TDS)	mg/L	2.000	4.000
Zat padat suspensi (TSS)	mg/L	200	400
pH	-	6,0 – 9,0	6,0 – 9,0
Besi terlarut (Fe)	mg/L	5	10
Mangan terlarut (Mn)	mg/L	2	5
Barium (Ba)	mg/L	2	3
Tembaga (Cu)	mg/L	2	3
Seng (Zn)	mg/L	5	10
Krom Heksavalen (Cr ⁶⁺)	mg/L	0,1	0,5
Krom Total (Cr)	mg/L	0,5	1
Cadmium (Cd)	mg/L	0,05	0,1
Air Raksa (Hg)	mg/L	0,002	0,005
Timbal (Pb)	mg/L	0,1	1
Stanum (Sn)	mg/L	2	3
Arsen (As)	mg/L	0,1	0,5
Selenium (Se)	mg/L	0,05	0,5
Nikel (Ni)	mg/L	0,2	0,5
Kobalt (Co)	mg/L	0,4	0,6

Parameter	Satuan	Golongan	
		I	II
Sianida (CN)	mg/L	0,05	0,5
Sulfida (H ₂ S)	mg/L	0,5	1
Fluorida (F)	mg/L	2	3
Klorin bebas (Cl ₂)	mg/L	1	2
Amonia-Nitrogen (NH ₃ -N)	mg/L	5	10
Nitrat (NO ₃ -N)	mg/L	20	30
Nitrit (NO ₂ -N)	mg/L	1	3
Total Nitrogen	mg/L	30	60
BOD ₅	mg/L	50	150
COD	mg/L	100	300
Senyawa aktif biru metilen	mg/L	5	10
Fenol	mg/L	0,5	1
Minyak & Lemak	mg/L	10	20
Total Bakteri Koliform	MPN/100 mL	10.000	

Keterangan: Garis kuning merupakan parameter yang akan dianalisis pada limbah cair sebelum dan setelah pengolahan.

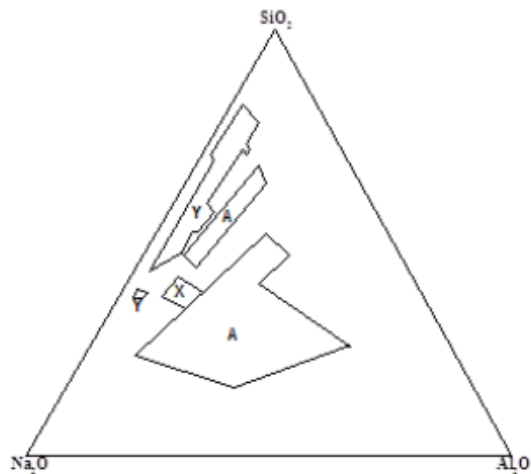
2.2.10 Penentuan Golongan Limbah Cair I dan II

Berdasarkan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup RI Nomor 5 Tahun 2014 terkait Baku Mutu Limbah Bagi Usaha Dan/Atau Kegiatan Yang Belum Memiliki Baku Mutu Air Limbah Yang Ditetapkan dalam penentuan golongan I atau golongan II dari sampel limbah cair didasarkan dari nilai kadar COD dan BOD nya. Apabila suatu limbah cair memiliki nilai BOD < 1500 ppm dan COD < 3000 ppm maka limbah cair tersebut masuk kategori golongan I. Sedangkan apabila suatu limbah cair memiliki nilai BOD > 1500 ppm dan/atau COD > 3000 ppm maka limbah cair tersebut masuk kategori golongan II. Dalam penelitian ini pada proses aplikasi adsorpsi akan digunakan parameter polutan berupa Fe, COD, TDS, pH dan temperatur pada limbah cair sebelum dan setelah diolah menggunakan adsorben berupa zeolit sintesis.

2.2.11 Komposisi Molar Zeolit

Kajian terkait komposisi perbandingan rasio molar Si/Al berdasarkan hasil penelitian dari Bahri (2015) menyatakan bahwa sumber silika yang digunakan berasal dari abu vulkanik Gunung Kelud dengan komposisi molar menggunakan

smetode dari Masoudian dkk. (2013) yaitu $4,5 \text{ Na}_2\text{O} : x\text{Al}_2\text{O}_3 : 3\text{SiO}_2 : 315\text{H}_2\text{O}$ dengan nilai $x = 1 ; 1,5 \text{ dan } 2$.



Gambar 5. Diagram komposisi terner NaO-Al₂O₃-SiO₂
Sistem Sintesis Zeolit A, X dan Y
Sumber: (Masoudian, dkk., 2013)

Diagram terner digambarkan dalam sebuah segitiga dengan ketiga sudutnya mewakili komposisi dari ketiga komponen yang terlibat didalamnya. Dalam pembuatan zeolit sintesis, ketiga komponen tersebut yaitu Al₂O₃, SiO₂ dan Na₂O. Zeolit X dari gel dengan komposisi 4,76 Na₂O, 1 Al₂O₃, 3,5 SiO₂, 454 H₂O, 5-8,5TEA. Sintesis dilakukan dengan menggunakan larutan berair bubuk dari Cab-O-Sil M-5 atau Aerosil 200 fumed silika dan larutan natrium aluminat yang mengandung trietanolamin dibuat dengan natrium hidroksida dan bubuk dium aluminat (Masoudian dkk., 2013).

2.2.12 Fourier-Transform Infrared (FTIR)

Fourier Transform Infrared Merupakan variasi instrumental dari spektroskopi Inframerah (IR) (Sudiyono, 2016). Spektroskopi inframerah merupakan metode analisis yang digunakan untuk identifikasi jenis senyawa berdasarkan spektra absorpsi sinar inframerahnya. Analisis ini dapat mengetahui gugus fungsi dari senyawa dan dapat memberikan informasi pendukung dalam penentuan struktur molekul suatu senyawa. Metode ini didasarkan pada molekul dengan gugus fungsi tertentu dan memiliki frekuensi spesifik yang dihubungkan

dengan vibrasi dari atom gugus fungsi tersebut (Sibilia, 1996). Berikut merupakan gambar 6 yaitu instrumen FTIR:



Gambar 6. Instrumen FTIR

Karakterisasi zeolit dengan FTIR bertujuan untuk mengidentifikasi gugus fungsi yang terdapat dalam zeolit. Zeolit secara umum mempunyai daerah serapan yang karakteristik disekitar bilangan gelombang $1200 - 300 \text{ cm}^{-1}$. Daerah sekitar $1.150 - 1.050 \text{ cm}^{-1}$ merupakan uluran asimetri eksternal SiO_4 (atau AlO_4), $820 - 750 \text{ cm}^{-1}$ merupakan uluran simetri eksternal SiO_4 , dan $650-500 \text{ cm}^{-1}$ merupakan vibrasi cincin ganda (Mozgawa, dkk., 2011). Ketiga daerah bilangan gelombang tersebut merupakan puncak tidak sensitif terhadap perubahan struktur (Goncalves, dkk., 2008). Jalinan internal pada zeolit muncul pada daerah serapan sekitar $1250 - 950 \text{ cm}^{-1}$ yang menunjukkan adanya vibrasi ulur asimetri dari Si-O dan Al-O dari kerangka alumino silikat. Vibrasi ulur simetri Si-O dan Al-O muncul pada daerah serapan sekitar $720 - 650 \text{ cm}^{-1}$, dan tekukan Si-O dan Al-O pada $500-420 \text{ cm}^{-1}$ (Mozgawa dkk., 2011)

Salah satu instrumen yang dapat menganalisa senyawa kimia dengan memberikan gambaran mengenai struktur senyawa/molekul tersebut disebut sebagai Spektrometri Infra Merah (IR). Spektrometri IR adalah interaksi antara radiasi cahaya di daerah infra merah (spektra sinar pada bilangan gelombang 12.900 sampai dengan 10 cm^{-1}) dengan materi. Sinar infra merah yang diserap atau yang diteruskan akan ditangkap oleh detektor yang mengubah sinyal-sinyal yang diterima menjadi interferogram. Interferogram ini kemudian diolah oleh komputer

menjadi data spektrum pada bilangan gelombang tertentu memberikan petunjuk mengenai ikatan-ikatan yang terdapat dalam senyawa tersebut.

Penelitian FTIR dilakukan untuk mengidentifikasi vibrasi ikatan pada kerangka zeolit pada bilangan gelombang 4000 cm^{-1} sampai dengan 400 cm^{-1} dengan Teknik pellet KBr yaitu 1 mg sampel digerus dengan 100 mg KBr kering sehingga menjadi padatan transparan. FTIR juga dapat digunakan untuk menentukan kristalinitas suatu produk zeolit. Data kristalinitas dari spektra FTIR dihitung berdasarkan rasio ikatan pada bilangan gelombang 550 cm^{-1} (I_{550}) terhadap ikatan pada bilangan gelombang 450 cm^{-1} (I_{450}) (Al - Oweini dan El-Rassy, 2009; Figueiredo dkk., 2016).

2.2.13 Scanning Electron Miscroscope – Energy Dispersive X-Ray (SEM-EDX)

SEM digunakan untuk melihat morfologi permukaan dari padatan kecil, sedangkan SEM-EDX untuk mengetahui komposisi logam atau logam oksida pada membran zeolit zeolit. Sedangkan untuk observasi morfologi partikel yang berukuran mikro. Prinsip kerja SEM adalah penembakan berkas elektron terhadap suatu sampel, sehingga menghasilkan pantulan elektron dengan energi yang lebih rendah. Berkas elektron yang dipantulkan akan memberikan informasi mengenai gambar permukaan atau morfologi suatu sampel. Pada umumnya material yang dianalisis oleh SEM bersifat konduktor, sedangkan untuk material yang bersifat isolator seperti zeolit harus dilapisi (*coating*) dengan konduktor seperti emas atau platina menggunakan alat *sputtering*. Berikut merupakan gambar 6 yaitu instrumen SEM-EDX:



Gambar 7. Instrumen SEM-EDX

2.2.14 TDS Meter

Metode pengukuran TDS dapat dilakukan menggunakan metode *electrical conductivity* (ukuran kemampuan suatu bahan untuk menghantarkan arus listrik) dengan prinsip kerja dari TDS Meter yaitu alat dicelupkan ke dalam larutan dan secara otomatis akan keluar hasil kadarnya (Aliaman, 2017). TDS meter yang digunakan dalam penelitian ini adalah tipe TDS digital merk TDS & EC (hold).



Gambar 8. TDS Meter

2.3 Hipotesis

1. Karakteristik unsur kimia yang terkandung dalam abu daun nipah yaitu $\pm 0,8$ % Si, kandungan Al dalam alumunium foil bekas yaitu $\pm 74\%$. Unsur kimia yang terkandung dalam zeolit sintesis dengan bahan baku kombinasi abu daun nipah alumunium foil bekas meliputi Al, Si, Na, Mg, P, S, Cl, K, dan Ca.
2. Komposisi rasio molar Si/Al terbaik dari zeolit sintesis berbahan baku limbah daun nipah dan alumunium foil bekas yang optimal untuk mengolah limbah cair sisa pengujian COD yaitu rasio molar Si/Al yaitu ZSR-2.
3. Waktu kontak yang optimum pada proses pengolahan limbah cair sisa pengujian *Chemical Oxygen Demand* (COD) menggunakan zeolit sintesis dengan komposisi rasio molar Si/Al terbaik yaitu ZSR-2 terhadap penyisihan besi (Fe), COD dan TDS yaitu 150 menit.