

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Terdahulu

Penelitian terdahulu mengenai pembuatan zeolit sintesis sebagai adsorben dalam mereduksi kandungan polutan pada limbah cair sisa analisis COD. Tujuan dari peninjauan studi pustaka yaitu untuk membandingkan penelitian yang sudah ada dengan ide baru maupun pembaruan yang akan dilakukan dalam penelitian ini.

Pada penelitian Safitri & Jahro, (2021) menunjukkan bahwa sumber Al didapatkan dari limbah alumunium foil untuk menghasilkan zeolit X. Penelitian ini melakukan variasi rasio Si/Al yang berpengaruh terhadap hasil kristalinitas zeolit X, dengan tingkat kristalinitas sebesar 75 %.

Penelitian Ikhsan dkk. (2021) mengenai karakteristik adsorben pelepah Nipah dalam penurunan kadar logam berat Merkuri (Hg), menunjukkan bahwa hasil karakteristik nipah memiliki kandungan selulosa dan lignin yang berpotensi sebagai adsorben limbah cair. Dengan waktu kontak adsorpsi optimal pada menit ke 60 dan ukuran biosorben 100 *mesh*, dapat menjerap logam berat sebesar 99,99989%.

Penelitian Agustiani dkk. (2021) mengenai pemanfaatan limbah serabut kelapa sebagai sumber silika yang menghasilkan kemurnian 61,5% dan komponen lainnya berupa senyawa-senyawa pengotor oksida. Hasil menunjukkan bahwa bahan tersebut berpotensi sebagai adsorben, karena memiliki pori-pori pada struktur permukaan yang menghasilkan efisiensi adsorpsi optimum terhadap penurunan konsentrasi amonium sebesar 45%.

Menurut penelitian Mujiyanti dkk. (2021) menyatakan bahwa konsentrasi NaOH memiliki pengaruh terhadap kemurnian silika dari limbah sekam padi. Hasil menunjukkan ekstraksi silika diperoleh berdasarkan perhitungan rendemen dan analisis komposisi menggunakan XRF. Adapun kadar silika terbanyak berdasarkan perhitungan rendemen yaitu pada konsentrasi NaOH 3 M sebesar

61,376%, sedangkan pada konsentrasi 2 M menghasilkan persentase silika sebesar 48,600%.

Muis dkk. (2019) telah melakukan penelitian terhadap pemanfaatan cangkang kelapa sawit sebagai zeolit untuk adsorpsi logam Kromium Heksavalen (Cr^{6+}) pada Industri Elektroplating. Pada penelitian ini memvariasikan temperatur hidrotermal untuk mengetahui hasil karakteristik dan jenis zeolit sintesis. Variasi temperatur tersebut yaitu 120°C , 150°C , dan 180°C selama 8 jam. Hasil dari penelitian diperoleh bahwa semakin tinggi temperatur akan menyebabkan struktur kristal berubah menjadi amorf.

Menurut penelitian Ahmedzeki dkk. (2018) bahwa limbah alumunium kaleng dan sekam padi sebagai bahan utama yang dapat dimanfaatkan dalam pembuatan zeolit sintesis. Hasil menunjukkan jenis zeolit yang terbentuk adalah zeolit A yang memiliki kristalinitas yang baik, dengan luas permukaan $185,78 \text{ m}^2/\text{g}$ dari hasil analisis XRD.

Penelitian Selim dkk. (2017) yang bertujuan untuk mereduksi logam Cd^{2+} pada limbah cair dengan menggunakan zeolit jenis Na-A yang berbahan dasar limbah alumunium dan natrium silikat komersial. Hasil pada penelitian ini menunjukkan zeolit memiliki luas permukaan yang relatif tinggi yaitu $374 \text{ m}^2/\text{g}$, dengan kapasitas penjerapan 84.09%.

Masoudian dkk. (2013) telah melakukan penelitian terhadap variasi komposisi molar yang optimal terhadap sintesis zeolit, dengan 4 variasi komposisi molar yaitu a) $5,1 \text{ Na}_2\text{O} : 1 \text{ Al}_2\text{O}_3 : 3,95 \text{ SiO}_2 : 200 \text{ H}_2\text{O}$, b) $5 \text{ Na}_2\text{O} : 1 \text{ Al}_2\text{O}_3 : 4 \text{ SiO}_2 : 315 \text{ H}_2\text{O}$, c) $4,5 \text{ Na}_2\text{O} : 1 \text{ Al}_2\text{O}_3 : 3 \text{ SiO}_2 : 315 \text{ H}_2\text{O}$, d) $2,3 \text{ Na}_2\text{O} : 1 \text{ Al}_2\text{O}_3 : 3 \text{ SiO}_2 : 161 \text{ H}_2\text{O}$. Hasil pada penelitian ini menghasilkan zeolit X pada rasio molar Si/Al yaitu 3:1, yang memiliki karakteristik baik berdasarkan analisis XRD dan SEM. Berikut merupakan ringkasan penelitian terdahulu yang ditunjukkan pada tabel 2.1.

Tabel 2.1. Ringkasan Penelitian Terdahulu

No	Peneliti	Tujuan	Hasil	Perbedaan
1.	Safitri & Jahro, (2021)	Untuk mengetahui variasi rasio rasio Si/Al dengan penambahan Na_2EDTA terhadap zeolit sintesis.	Zeolit yang dihasilkan tipe X dengan tingkat kristalinitas tertinggi 75%, dan kristalinitas terbaik diperoleh dari hasil sintesis menggunakan rasio Si/Al 1,6 serta tambahan Na_2EDTA sebanyak 30 g.	<ul style="list-style-type: none"> - Sumber Silika dan Alumunium sebagai bahan dasar pembuatan zeolit sintesis terdiri dari limbah daun nipah dan limbah alumunium kaleng bekas jenis minuman berelektrolit tinggi. - Bahan kimia yang digunakan salah satunya tidak menggunakan Na_2EDTA. - Variasi rasio Si/Al yaitu 1,7 dan 1,9.
2.	Ikhsan dkk. (2021)	Untuk menentukan kondisi optimum serta waktu kontak dalam penurunan kadar merkuri yang dilihat dari hasil karakteristik.	Kondisi optimum pada penurunan kadar logam berat merkuri (Hg) pada larutan artifisial merkuri menghasilkan daya serap sebesar 99,99989% pada ukuran biosorben 100 <i>mesh</i> dengan waktu kontak 60 menit.	<ul style="list-style-type: none"> - Bahan baku utama yang digunakan yaitu limbah daun nipah. - Limbah cair yang digunakan yaitu limbah cair sisa analisis COD. - Variasi waktu kontak adsorpsi yaitu 30, 60, 90, 120, dan 150 menit.

No	Peneliti	Tujuan	Hasil	Perbedaan
3.	Agustiani dkk. (2021)	Untuk mengetahui pola isoterm adsorpsi SiC dalam mengadsorpsi amonium dan daya adsorpsi SiC.	Pada proses yang telah dilakukan bahwa raw material dalam pembuatan adsorben SiC adalah sabut kelapa dan karbon serbuk gergaji kayu Sengon. Dalam SiC tersebut memiliki morfologi permukaan berpori dengan struktur kubik yang mampu menurunkan konsentrasi amonium sebesar 45%.	<ul style="list-style-type: none"> - Bahan baku utama yang digunakan sebagai bahan dasar pembuatan zeolit sintesis yaitu limbah daun nipah. - Preparasi dan aktivasi bahan silika menggunakan Natrium hidroksida (NaOH) dan Asam klorida (HCl).
4.	Mujiyanti dkk. (2021)	Untuk mengetahui kemurnian silika dari limbah sekam padi yang dipengaruhi oleh variasi konsentrasi NaOH .	Hasil ekstraksi silika diperoleh berdasarkan perhitungan rendeman. Berdasarkan perhitungan rendemen menghasilkan silika terbanyak yaitu pada NaOH 3M, sedangkan karakterisasi komposisi memiliki persentase tertinggi pada NaOH 2M.	<ul style="list-style-type: none"> - Konsentrasi NaOH yang digunakan yaitu 2 M dan HCl 2 M. - Sumber silika yang digunakan yaitu limbah daun nipah.

No	Peneliti	Tujuan	Hasil	Perbedaan
5.	Muis dkk. (2019)	Untuk mengetahui jenis zeolit yang berbahan dasar cangkang kelapa sawit sebagai adsorben logam kromium heksavalen (Cr^{6+}).	Hasil karakteristik zeolit menggunakan XRD dan SEM menunjukkan jenis zeolit berbeda berdasarkan variasi temperatur hidrotermal yaitu pada $T = 120^\circ\text{C}$ menghasilkan zeolit campuran yaitu 4A, sodalit dan faujasit; pada $T = 150^\circ\text{C}$ menghasilkan zeolit sodalit dan pada $T = 180^\circ\text{C}$ lebih cenderung amorf.	<ul style="list-style-type: none"> - Jenis limbah yang digunakan sebagai bahan dasar pembuatan zeolit sintesis yaitu limbah daun nipah dan alumunium kaleng bekas. - Limbah cair yang digunakan sebagai aplikasi zeolit sintesis yaitu limbah cair sisa analisis COD. - Analisis yang digunakan berupa XRF, SEM-EDX dan FTIR. - Suhu sintesis zeolit yang digunakan yaitu 150°C.
6.	Ahmedzeki dkk. (2018)	Mensintesis dua sampel zeolit NaA dengan sumber Si pertama Natrium Silikat dan sumber Si kedua <i>rice husk</i> , dan sumber Al yaitu Alumunium kaleng.	Hasil menunjukkan bahwa limbah Alumunium kaleng dapat digunakan untuk sintesis zeolit A. Terlihat bahwa kedua zeolit yang terbentuk yaitu zeolit NaA dengan kristalinitas sebesar 166% dan 103%.	<ul style="list-style-type: none"> - Sumber Silika dan Alumunium terdiri dari limbah daun nipah dan limbah alumunium kaleng bekas jenis minuman berelektrolit tinggi.

No	Peneliti	Tujuan	Hasil	Perbedaan
7.	Selim dkk. (2017)	Mengetahui karakterisasi zeolit dan uji adsorpsi pada ion Cd^{2+} .	Hasil penelitian menunjukkan bahwa proses penghilangan ion Cd^{2+} terjadi karena mekanisme pertukaran ion. Dengan kapasitas penyerapan 84,09 meq/100 g dengan efisiensi penyisihan 99,2%.	<ul style="list-style-type: none"> - Limbah cair yang digunakan sebagai aplikasi zeolit sintesis yaitu limbah cair sisa analisis COD dengan analisis logam berat khrom total (Cr) dan khrom heksavalen (Cr^{6+}). - Sumber Silika dan Alumunium berasal dari limbah daun nipah dan alumunium kaleng bekas.
8.	Masoudian dkk. (2013)	Mengetahui variasi komposisi molar yang optimal, dengan 4 variasi komposisi molar yaitu a) 5,1 Na_2O : 1 Al_2O_3 : 3,95 SiO_2 : 200 H_2O , b) 5 Na_2O : 1 Al_2O_3 : 4 SiO_2 : 315 H_2O , c) 4,5 Na_2O : 1 Al_2O_3 : 3 SiO_2 : 315 H_2O , d) 2,3 Na_2O : 1 Al_2O_3 : 3 SiO_2 : 161 H_2O .	Komposisi molar yang optimal yaitu 4,5 Na_2O : 1 Al_2O_3 : 3 SiO_2 : 315 H_2O dengan menghasilkan zeolit X yang memiliki karakteristik baik berdasarkan analisis XRD dan SEM.	<ul style="list-style-type: none"> - Metode sintesis zeolit yaitu metode hidrotermal. - Rasio molar yang digunakan yaitu 1,7 dan 1,9. - Sumber Silika dan Alumunium berasal dari limbah daun nipah dan alumunium kaleng bekas.

2.2 Teori - teori yang relevan

2.2.1 Pencemaran Lingkungan

2.2.1.1 Pencemaran Air

Pada Era Globalisasi saat ini, permasalahan pencemaran air memerlukan perhatian serius, karena sudah sampai pada tingkat yang membahayakan akibat berkembangnya aktivitas manusia. Sementara itu, air merupakan faktor penting dalam kehidupan. Menurut Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 22 Tahun 2021, pencemaran air merupakan menurunnya kualitas lingkungan yang disebabkan masuk atau dimasukkannya makhluk hidup, zat dan/atau energi ke dalam air oleh kegiatan manusia.

2.2.1.2 Bahan Berbahaya dan Beracun (B3)

2.2.1.2.1 Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun

Menurut Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 101 Tahun 2014, Bahan Berbahaya dan Beracun yang disingkat B3 adalah komponen yang dapat mencemari lingkungan karena zat, energi, dan/atau komponen lain serta adanya kelangsungan hidup manusia dan makhluk hidup lain. Sisa suatu usaha dan/atau kegiatan yang mengandung B3 maka termasuk limbah bahan berbahaya dan beracun.

2.2.1.2.2 Karakteristik Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun (B3)

Limbah B3 memiliki karakteristik yang dapat digolongkan menjadi mudah meledak, mudah menyala, reaktif, infeksius, korosif, dan beracun menurut Malayadi, (2017), sebagai berikut :

- a. Mudah meledak (*explosive*), adalah limbah B3 yang pada suhu dan tekanan standar yaitu 25°C atau 760 mmHg dapat dengan mudah meledak, atau pada suhu dan tekanan tinggi dapat merusak lingkungan karena melalui reaksi baik secara fisika atau kimia.
- b. Mudah menyala (*ignitable*), adalah limbah cair atau limbah bukan berupa cairan yang bersifat mudah menyala pada temperatur dan tekanan standar yaitu 25°C atau 760 mmHg melalui gesekan apabila terdapat sumber api.

- c. Reaktif (*reactive*), adalah limbah yang dapat menimbulkan perubahan tanpa ledakan karena keadaannya tidak stabil, kemudian yang pada kondisi pH antara 2 (dua) atau 12,5 (dua belas koma lima) dapat menghasilkan gas.
- d. Infeksius (*infectious*), adalah limbah yang bermula dari kegiatan laboratorium, limbah lain yang terinfeksi kuman penyakit menular atau dari ruang isolasi.
- e. Korosif (*corrosive*), adalah limbah yang mempunyai pH asam dengan rentang sama atau kurang dua, dan bersifat basa dengan rentang sama atau lebih dari dua belas koma lima (12,5) yang dapat menyebabkan iritasi.
- f. Beracun (*toxic*), adalah limbah yang dapat menimbulkan kecacatan maupun kematian, karena mengandung bahan pencemar bersifat racun yang masuk melalui kulit.

2.2.2 Limbah Cair Laboratorium

Laboratorium merupakan tempat untuk melakukan pengujian hingga dapat memperoleh data hasil uji yang valid dan akurat. Kegiatan yang dilakukan di laboratorium, dimulai dari persiapan pengujian sampai dengan pengujian. Dalam prosesnya membutuhkan bahan-bahan kimia, terkhusus pada saat analisis COD. Jenis bahan kimia yang umum digunakan pada saat analisis COD yaitu bahan kimia yang bersifat anorganik, seperti Merkuri Sulfat (HgSO_4), Kalium Dikromat ($\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$), dan berbagai jenis bahan lainnya (Cahyo & Prasetyoko, 2016). Pemakaian bahan-bahan kimia tersebut menghasilkan limbah dengan karakteristik B3.

Limbah cair laboratorium memiliki unsur berbahaya berupa logam berat terlarut seperti Timbal (Pb), Merkuri (Hg), Krom (Cr), dan lain-lain (Cahyo & Prasetyoko, 2016). Limbah laboratorium termasuk limbah yang belum memiliki baku mutu air limbah yang ditetapkan, hal tersebut karena digolongkan pada lampiran IX yang berarti belum memiliki baku mutu khusus pada Peraturan Daerah Provinsi Jawa Tengah Nomor 5 Tahun 2012.

Tabel 2.2. Peraturan Daerah Provinsi Jawa Tengah Nomor 5 Tahun 2012

NO	PARAMETER	SATUAN	GOLONGAN BAKU MUTU AIR LIMBAH	
			I	II
	FISIKA			
1.	Temperatur*	°C	38	38
2.	Zat padat larut (TDS)*	mg/L	2.000	4.000
3.	Zat padat suspensi (TSS)	mg/L	100	200
	KIMIA			
1.	pH*	-	6,0 – 9,0	6,0 – 9,0
2.	Besi terlarut (Fe)	mg/L	5	10
3.	Mangan terlarut (Mn)	mg/L	2	5
4.	Barium (Ba)	mg/L	2	3
5.	Tembaga (Cu)	mg/L	2	3
6.	Seng (Zn)	mg/L	5	10
7.	Khrom heksavalen (Cr ⁶⁺)*	mg/L	0,1	0,5
8.	Khrom total (Cr)*	mg/L	0,5	1
9.	Kadmium (Cd)	mg/L	0,05	0,10
10.	Raksa (Hg)	mg/L	0,002	0,005
11.	Timbal (Pb)	mg/L	0,1	1
12.	Timah (Sn)	mg/L	2	3
13.	Arsen (As)	mg/L	0,1	0,5
14.	Selenium (Se)	mg/L	0,05	0,5
15.	Nikel (Ni)	mg/L	0,2	0,5
16.	Kobalt (Co)	mg/L	0,4	0,6
17.	Sianida (CN)	mg/L	0,05	0,5
18.	Sulfida (H ₂ S)	mg/L	0,05	0,1
19.	Fluorida (F)	mg/L	2	3
20.	Klorin bebas (Cl ₂)	mg/L	1	2
21.	Nitrat (NO ₃ -N)	mg/L	20	30

NO	PARAMETER	SATUAN	GOLONGAN BAKU MUTU AIR LIMBAH	
			I	II
22.	Nitrit (NO ₂ -N)	mg/L	1	3
23.	BOD ₅ *	mg/L	50	100
24.	COD*	mg/L	100	250
25.	MBAS	mg/L	5	10
26.	Fenol	mg/L	0,5	1
27.	Minyak nabati	mg/L	5	10
28.	Minyak mineral	mg/L	10	50
29.	Radioaktifitas	-	-	-

Sumber : Peraturan Daerah Provinsi Jawa Tengah Nomor 5 Tahun 2012.

Keterangan :



= Parameter yang diuji dalam penelitian Tugas Akhir.

(*) = Parameter yang diuji dalam penelitian Tugas Akhir.

Golongan I = BOD < 1500 ppm dan COD < 3000 ppm.

Golongan II = BOD > 1500 ppm dan/atau COD > 3000 ppm.

Menurut Peraturan Daerah Provinsi Jawa Tengah Nomor 5 Tahun 2012, limbah cair laboratorium dapat digolongkan pada baku mutu golongan I ataupun II. Hal tersebut dapat ditentukan berdasarkan hasil uji COD dan BOD pada air limbah sebelum diolah. Limbah cair yang memiliki nilai BOD < 1500 ppm dan COD < 3000 ppm termasuk ke dalam golongan I, sedangkan limbah cair yang memiliki nilai BOD > 1500 ppm dan/atau COD > 3000 ppm termasuk ke golongan II.

2.2.3 Chemical Oxygen Demand (COD)

Chemical Oxygen Demand (COD) adalah jumlah total oksigen yang dibutuhkan untuk mengoksidasi bahan organik secara kimiawi (Lumaela dkk., 2013). Zat-zat organik yang secara alamiah dapat dioksidasi oleh mikroorganisme yang menyebabkan oksigen terlarut dalam air berkurang merupakan COD (Mandasari & Purnomo, 2016). COD berperan sebagai parameter pencemaran air

dan berkaitan dengan penurunan kandungan oksigen terlarut perairan. Pengujian COD mengacu pada Standar Nasional Indonesia (SNI) 6989.73:2019 mengenai cara uji kebutuhan oksigen kimiawi dengan refluks tertutup secara titrimetri.

Metode yang digunakan untuk pengujian kebutuhan oksigen kimiawi (*Chemical Oxygen Demand/COD*) yaitu secara refluks tertutup dengan menggunakan Kalium dikromat ($K_2Cr_2O_7$) yang berperan sebagai oksidator kuat dalam pengujiannya. Prinsip pengujian COD yaitu sampel limbah yang memiliki senyawa organik dan anorganik akan dikondisikan dalam suasana asam dan panas secara refluks tertutup secara 2 jam oleh ion $Cr_2O_7^{2-}$ selaku oksidator, hingga menghasilkan ion Cr^{3+} . Kemudian, dititrasi dengan larutan Ferro Ammonium Sulfat (FAS) menggunakan indikator ferroin. Jumlah oksigen yang dibutuhkan dinyatakan dalam ekivalen oksigen ($mg O_2/l$). Dari hasil pengujian tersebut menghasilkan limbah yang dinamakan limbah cair sisa analisis COD yang memiliki kandungan logam berat dan senyawa organik lain yang tinggi (Arora, 2014).

2.2.4 Logam Berat Kromium (Cr)

Kromium (Cr) adalah logam yang termasuk dalam golongan transisi. Kromium ditemukan sebagai bahan mineral dalam bentuk "*chromite*". Logam kromium mempunyai nomor atom 24. Logam Cr murni ditemukan dalam bentuk pensenyawaan padat atau mineral dengan unsur lainnya yang tidak pernah ditemukan di alam. Logam kromium memiliki bilangan oksidasi +2, +3, dan +6, dimana bilangan tersebut merupakan bilangan yang terbentuk dari atom-atomnya yang bersifat netral, sehingga akan menyatakan sifat muatan spesinya. Adapun contoh kromium dengan bilangan oksidasi +2, +3, dan +6 yaitu $CrCl_2$, $CrCl_3$ dan K_3CrO_4 yang secara berurutan merupakan kromium yang sering ditemukan di dalam limbah (Wilbur dkk., 2012).

Kandungan kromium yang bervalensi +3 (trivalen) sering dihasilkan dalam berbagai macam industri atau sektor, yang dimana kromium (III) dapat teroksidasi menjadi kromium (VI) yang bervalensi 6+ (heksavalen) (Maryudi dkk., 2021). Keberadaan kromium trivalen dan heksavalen adalah salah satu kasus yang akan

berdampak pada lingkungan karena efek racunnya yang sangat berbahaya. Kromium (VI) yang berada di perairan memiliki kelarutan yang cukup tinggi serta memiliki sifat karsinogenik dan mutagenik. Kromium termasuk ke dalam kelompok 16 besar substansi berbahaya oleh *Agency for Toxic Substances and Disease Registry* (Sy dkk., 2016).

2.2.5 Parameter Fisika dan Kimia

2.2.5.1 Suhu

Suhu merupakan parameter fisika yang penting dalam perairan, karena mempengaruhi komponen biotik dan abiotik dalam ekosistem. Konsentrasi oksigen terlarut yang terdapat di perairan dapat dipengaruhi oleh suhu yang merupakan parameter kritis dalam perairan. Metabolisme organisme air akan meningkat dengan adanya kenaikan suhu yang melebihi batas, hal tersebut akan menyebabkan gas-gas terlarut di dalam air akan berkurang (Pal dkk., 2017).

2.2.5.2 Total Dissolved Solid (TDS)

Total Dissolved Solid (TDS) adalah parameter untuk mengukur kandungan material padatan di dalam perairan. TDS memiliki material dengan diameter kurang dari $< 10^{-3}$ μm . Dampak berbahaya akan terjadi apabila konsentrasi TDS mengalami perubahan, hal tersebut menyebabkan terganggunya keseimbangan pada biota air dan menimbulkan toksisitas tinggi terhadap air (Andini, 2021).

2.2.5.3 Derajat Keasaman (pH)

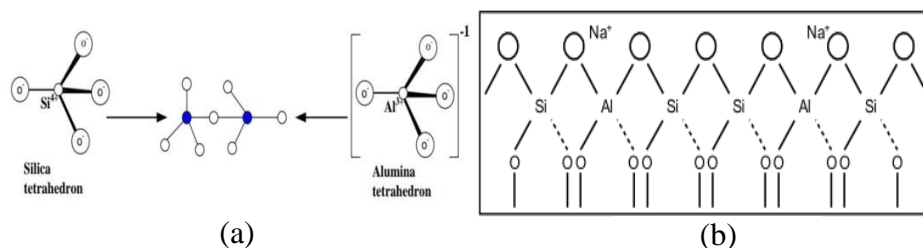
Derajat keasaman (pH) merupakan faktor penting dalam proses pengolahan air untuk perbaikan kualitas air, karena berpengaruh terhadap kehidupan biologi yang menentukan sifat keasaman dan kebasaan perairan. Kondisi pH dapat mempengaruhi tingkat toksisitas suatu senyawa kimia dan proses metabolisme organisme air (Andini, 2021). Masing-masing organisme memiliki batas toleransi kadar minimal dan maksimal sehingga pH berperan penting untuk diukur dalam pengolahan limbah (Arief dkk., 2012).

2.2.5.4 Biological Oxygen Demand (BOD₅)

Biological Oxygen Demand (BOD₅) adalah proses dekomposisi bahan organik secara aerobik oleh mikroorganisme untuk menunjukkan jumlah oksigen terlarut. Nilai BOD₅ menandakan proses oksidasi bahan organik menjadi karbondioksida dan air yang keberadaannya dibutuhkan oleh mikroba (Arief dkk., 2012). Pada dasarnya prinsip pengukuran BOD₅ yaitu mengukur kandungan oksigen terlarut awal (DO₁) dari sampel, kemudian diinkubasi selama 5 hari pada kondisi gelap dan suhu tetap (20⁰C) untuk selanjutnya diukur kandungan oksigen terlarut yang sering disebut DO₅. Selisih DO₁ dan DO₅ merupakan nilai BOD₅ yang dinyatakan dalam mg/L (Indrayani & Rahmah, 2018).

2.2.6 Zeolit

Zeolit merupakan mineral berbentuk kerangka tiga dimensi yang terdiri dari kristal alumina silikat terhidrasi yang mengandung kation alkali. Zeolit memiliki kerangka dasar yang terdiri dari unit-unit tetrahedral [SiO₄]⁴⁻ dan [AlO₄]⁵⁻ yang saling berhubungan membentuk atom O. Struktur tiga dimensi digambarkan pada gambar 2.1, dapat diketahui empat ikatan silika tetrahedron bersifat netral, sedangkan empat ikatan alumina tetrahedron bersifat negatif, sehingga dibutuhkan untuk menetralkan senyawa tersebut perlu adanya ion bermuatan positif seperti Na. Zeolit mempunyai struktur berongga yang berisi air dan kation serta memiliki ukuran pori tertentu. Zeolit dapat dimanfaatkan sebagai adsorben, penukar ion, penyaring molekuler dan katalisator (Ardhiany, 2019). Struktur zeolit dan struktur sisi aktif zeolit dapat dilihat pada gambar 2.1.



Gambar 2.1. (a) Struktur Zeolit, (b) Struktur Sisi Aktif dalam Zeolit

Sumber: Masoudian dkk. (2013) dan Ardhiany, (2019)

Secara umum zeolit sintesis memiliki komposisi Na₂O : SiO₂ : Al₂O₃ : H₂O. Perbandingan rasio Si/Al menghasilkan perbedaan struktur zeolit menurut Sumari

dkk. (2020), sehingga zeolit mempunyai rumus Empiris sebagai berikut : $M_{2n}O \cdot Al_2O_3 \cdot xSiO_2 \cdot yH_2O$ (Ardhiany, 2019). Dimana M adalah logam alkali, n adalah valensi logam alkali, x adalah bilangan tertentu untuk kandungan SiO_2 , dan y adalah bilangan tertentu untuk kandungan H_2O . Adapun sifat-sifat zeolit meliputi :

a. Dehidrasi

Zeolit bersifat dehidrasi yang akan mempengaruhi sifat adsorbsinya. Medan listrik meluas ke dalam rongga utama permukaan zeolit, dan akan efektif berinteraksi dengan molekul yang akan diadsorbsi.

b. Adsorpsi

Kristal zeolit akan terisi oleh molekul air bebas yang berada di sekitar kation dalam keadaan normal ruang hampa. Selektifitas adsorpsi zeolit terhadap ukuran molekul dapat disesuaikan dengan proses dekationisasi, dealuminasi secara hidrotermal dan perubahan perbandingan kadar Si dan Al (Ardhiany, 2019).

c. Penukar Ion

Kenetralan zeolit terjaga karena adanya ion-ion pada rongga atau kerangka elektrolit. Ukuran dan muatan jenis zeolit menyebabkan ion bergerak bebas, sehingga pertukaran ion dapat terjadi. Perubahan beberapa sifat zeolit seperti stabilitas terhadap panas, sifat adsorpsi dan aktifitas katalitis (Ardhiany, 2019).

d. Katalis

Difusi molekul akan terjadi ke dalam kristal sehingga terjadi proses penyerapan atau katalitis. Hal tersebut akan membentuk sifat khusus mineral yaitu dengan terbentuknya saluran di dalam strukturnya yang berisi ruang kosong (Ardhiany, 2019).

e. Penyaring / Pemisah

Zeolit mempunyai media pori yang dapat digunakan sebagai penyerap atau pemisah campuran uap atau cairan. Hal tersebut dikarenakan diameter pori-pori zeolit cukup selektif. Dengan demikian perbedaan ukuran, bentuk dan polaritas dari molekul yang disaring dapat dipisahkan.

2.2.6.1 Jenis-jenis Zeolit

Menurut proses pembentukannya zeolit dapat digolongkan menjadi 2 (dua) kategori menurut Ardhiany, (2019), antara lain :

a. Zeolit Alam

Zeolit alam adalah zeolit yang ditambang langsung dari alam. Zeolit terbentuk karena adanya perubahan alam (zeolitisasi) yang berasal dari batuan vulkanif tuf. Pada umumnya, zeolit alam berupa klinoptiolit, mordenit, simektit, dan senyawa-senyawa lain dapat mengganggu sifat serta kemampuan zeolit sebagai penukar ion, adsorben, dan katalis (Ardhiany, 2019). Kelemahan yang dimiliki oleh zeolit alam diantaranya kristanilitas kurang baik dan mengandung pengotor berupa K, Mg, Ca, dan Fe (Yunita dkk., 2019).

b. Zeolit Sintesis

Zeolit sintesis merupakan senyawa kimia yang memiliki sifat fisik dan kimia yang sama dengan zeolit alam. Karakter zeolit sintesis yang sama dengan zeolit alam terbentuk karena adanya bahan lain yang diproses secara sintesis. Zeolit sintesis terbentuk ketika gel terkristalisasi pada tekanan atmosferik ataupun autogenous yaitu kondisi temperatur kamar sampai dengan 200°C. Zeolit sintesis diproduksi dengan cara hidrotermal. Keberadaan impuritas (pengotor), waktu pencampuran dan temperatur, pencucian dan waktu reaksi, sumber silika dan alumina, jenis kation alkali mempengaruhi proses sintesis zeolit.

Menurut Salahudin & Ahmed, (2017), zeolit terbagi menjadi 206 jenis dan sekitar 40 jenis zeolit telah diketahui struktur *framework* nya. Diantara 40 jenis tersebut, terdapat 6 jenis zeolit yang secara umum ditemui diantaranya, sebagai berikut :

1. Zeolit Faujasit, terbagi menjadi zeolit NaX, NaY, dan Y. Zeolit NaX memiliki rasio Si : Al < 2,5 sedangkan zeolit NaY memiliki rasio Si : Al > 2,5-5,8. Kegunaan zeolit tersebut yaitu sebagai kation *exchange*, absorben, katalis, pemurnian dan pemisahan gas maupun komponen organik (Arifah, 2018). Zeolit Y memiliki rasio Si : Al antara 1,5-3, adapun kegunaannya

adalah sebagai adsorben, pemisah fruktosa-glukosa, pemisah N₂ di udara (Sugiarti dkk., 2017).

2. Zeolit A, rasio Si : Al yang dimiliki oleh zeolit A yaitu 1 atau mendekati 1. Adapun kegunaannya adalah sebagai peningkatan kualitas air dengan pengurangan kesadahan, adsorben, dan penukar ion (Saraswati, 2015).
3. Zeolit X, rasio Si : Al yang dimiliki oleh zeolit X antara 1,0-1,5. Adapun kegunaannya sebagai *catalytic cracking* (FCC), *hydrocracking*, adsorben, penukar ion (Wahyudi dkk., 2016).
4. Zeolit ZSM-5, memiliki rasio Si : Al antara 10-100 (Endrias dkk., 2013). Kegunaannya adalah sebagai katalis heterogen/hidrokarbon, adsorben pengganti karbon aktif (Faradilla dkk., 2018). Zeolit ZSM-5 memiliki sifat higroskopis dan mampu menyerap molekul non polar.
5. Zeolit NaA, memiliki rasio Si : Al <2, merupakan zeolit golongan *type A* (LTA) dengan kadar Si : Al rendah. Kegunaannya adalah adsorben, katalis, membran, penukar ion (Ginting dkk., 2019).
6. Zeolit Silikalit, termasuk zeolit yang tidak memiliki kandungan Al atau tidak mempunyai sisi kation sehingga termasuk ke dalam jenis zeolit ZSM-5. Zeolit ini dapat memisahkan molekul organik dari suatu campuran air, sehingga bersifat hidrofobik (Gunawan dkk., 2017).

2.2.6.2 Zeolit A

Zeolit A merupakan tipe zeolit sintetis yang memiliki rasio Si/Al yaitu 1 atau mendekati 1. Adapun rumus kimia dari zeolit A yaitu $\text{Na}_{96}[(\text{AlO}_2)_{96}(\text{SiO}_2)_{96}].216\text{H}_2\text{O}$ (Kurniawan & Widiastuti, 2017). Zeolit A merupakan polimer silika alumina yang mempunyai karakter utama *double ring* (D4R) dan ikatan Si-O dan Al-O (Saraswati, 2015). Morfologi dari zeolit A yaitu berbentuk kubus (Hanipa dkk., 2017). Mineral aluminosilikat yang dimiliki oleh zeolit A berperan sebagai adsorben untuk mengurangi berbagai jenis polutan dalam limbah (Widiastuti dkk., 2022).

2.2.6.3 Zeolit NaA

Zeolit NaA merupakan salah satu jenis zeolit sintesis yang memiliki kadar Si/Al rendah. Zeolit NaA memiliki rumus kimia $\text{Na}_{12}[(\text{AlO}_2)_{12}(\text{SiO}_2)_{12}]\cdot 27\text{H}_2\text{O}$ atau $\text{Na}_{12}\text{Al}_{12}\text{Si}_{12}\text{O}_{48}\cdot 27\text{H}_2\text{O}$ (Bohra dkk., 2014). Zeolit NaA adalah senyawa aluminosilikat dengan berbagai sifat, seperti kemampuan pertukaran ion yang baik dan ramah lingkungan (Su dkk., 2015). Zeolit NaA terdiri dari kesatuan rantai sangkar sodalit yang dihubungkan dengan atom oksigen membentuk cincin ganda beranggota empat. Zeolit NaA memiliki morfologi bentuk bola teraglomerasi (Moises dkk., 2013).

2.2.6.4 Sifat Zeolit

Jumlah komponen Si dan Al mempengaruhi sifat zeolit. Maka dari itu, pengelompokkan zeolit sintesis sesuai dengan perbandingan kadar komponen Si dan Al menurut Ardhiyany, (2019), sebagai berikut :

a. Zeolit kadar Si rendah

Zeolit dengan kadar Si rendah dapat digunakan untuk pemisahan atau pemurnian yang berkapasitas besar, hal tersebut karena memiliki pori-pori, komposisi, dan saluran rongga optimum. Volume pori-pori zeolit dapat mencapai $0,5 \text{ cm}^3$. Daya pertukaran ion dapat maksimum apabila perbandingan kadar Si / Al mendekati 1.

b. Zeolit kadar Si sedang

Zeolit dengan kadar Si sedang memiliki perbandingan Si / Al lebih tinggi dari 1 yaitu antara 1-3. Dalam hal ini, jenis zeolit modernit yang menjadi salah satu contoh dari zeolit kadar Si sedang. Akan tetapi, zeolit kadar Si rendah ini tidak stabil terhadap asam atau panas yang menyebabkan kerangka tetrahedral tidak terbentuk secara maksimal.

c. Zeolit kadar Si tinggi

Zeolit dengan kadar Si tinggi mempunyai perbandingan kadar Si / Al antara 10-100 bahkan lebih. Zeolit ini sangat hidrofilik, sehingga menyerap bahan tidak polar dan baik digunakan sebagai katalisator asam untuk hidrokarbon.

2.2.7 Karakteristik Zeolit

Zeolit dapat diaktivasi dengan cara fisika dan kimia. Kandungan air yang terkandung dalam pori-pori zeolit dapat teruapkan karena adanya proses aktivasi fisika yaitu dengan cara memanaskan zeolit pada suhu tinggi (Fawaid & Rusmini, 2014). Pembersihan permukaan pori dan penghilangan senyawa pengotor dapat dilakukan dengan proses aktivasi secara kimia dengan cara menambahkan larutan asam (H_2SO_4) atau basa (NaOH) (Fitriana & Rusmini, 2019). Tabel 2.3 merupakan informasi mengenai karakteristik zeolit.

Tabel 2.3. Karakteristik Zeolit

No.	Sifat	Nilai
1	Densitas	1,1 g/cc
2	Porositas	0,23-0,31
3	Volume berpori	0,28-3 cc/g
4	<i>Surface area</i>	1-20 m ² /g
5	Jari-jari makropori	30-100 nm
6	Jari-jari mikropori	0,5 nm

Sumber : Permana, (2013)

2.2.8 Karakterisasi Bahan dan Zeolit Sintesis

Karakterisasi bahan menggunakan instrumen *X-ray Fluoresensi* (XRF) untuk mengetahui komposisi unsur kimia dari daun nipah dan alumunium kaleng bekas. Karakterisasi zeolit ditentukan dari analisa menggunakan *Fourier Transform Infra Red* (FTIR) dan *Scanning Electron Microscopy-Energy Dispersive X-ray* (SEM-EDX). Proses karakterisasi akan memberikan informasi signifikan terhadap jenis zeolit yang terbentuk (Atikah, 2017).

2.2.8.1 Analisis Gugus Fungsi Senyawa

Analisis gugus fungsi senyawa bertujuan untuk mengidentifikasi material dan struktur molekul. Analisis ini menggunakan instrumen *Fourier Transform Infra Red* (FTIR), merk IRT racer-100. Prinsip dari FTIR yaitu transisi dari vibrasi molekul yang disebabkan karena adanya interaksi antara molekul dengan energi, sehingga disetiap bilangan gelombang mempunyai tipe ikatan yang berbeda

(Fasya dkk., 2019). Visualisasi dari instrumen FTIR merk IRT racer-100 dapat dilihat pada gambar 2.2.



Gambar 2.2. FTIR merk IRT racer-100

Sumber : Peneliti, (2023)

Matriks yang kompleks terjadi akibat adanya interaksi antara senyawa-senyawa kimia hingga menghasilkan spektrum FTIR (Anggundari dkk., 2016). Sampel yang masuk ke dalam IR akan mengabsorpsi radiasi pada frekuensi tertentu dan meneruskan seluruh frekuensi yang lain sesuai dengan frekuensi vibrasional molekular, sehingga akan mengalami vibrasi ulur dan *bending* (tekuk), sehingga hasil yang didapatkan berupa grafik intensitas dan panjang gelombang (Aminah, 2017). Keuntungan analisis menggunakan FTIR yaitu akurasi yang tinggi, sensitivitas yang baik dan kalibrasi panjang gelombang lebih akurat (Aminah, 2017). Tabel 2.4 merupakan ketentuan IR untuk zeolit.

Tabel 2.4. Ketentuan IR untuk Zeolit

Vibrasi <i>Internal</i>	
<i>Asymmetric Stretch</i>	1250 – 950
<i>Symmetric Stretch</i>	720 – 650
Ikatan T – O	500 – 420
Vibrasi <i>Eksternal</i>	
Cincin Ganda	Cincin Ganda
Pori Terbuka	Pori Terbuka
<i>Symmetric Stretch</i>	<i>Symmetric Stretch</i>
<i>Asymmetric Stretch</i>	<i>Asymmetric Stretch</i>

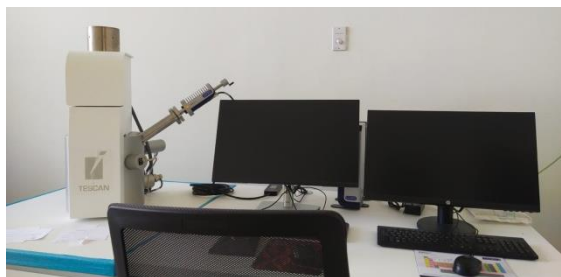
Sumber: Bahri, (2015)

Bilangan gelombang pada zeolit memiliki serapan inframerah pada panjang gelombang 300 – 1200 cm^{-1} , yang mana karakteristik zeolit juga

ditunjukkan dengan adanya *double ring* pada panjang gelombang $600 - 500 \text{ cm}^{-1}$ (Saraswati, 2015). *Double ring* merupakan jalinan eksternal antara lapisan zeolit satu dengan lainnya. Vibrasi ulur asimetri (Si,Al)-O dari kerangka alumino silikat zeolit ditunjukkan pada daerah serapan sekitar $1.000 - 400 \text{ cm}^{-1}$ (Saraswati, 2015). Terbentuknya kerangka alumino silikat karena adanya vibrasi ulur dan vibrasi tekuk dari Si-O dan Al-O pada zeolit.

2.2.8.2 Analisis Morfologi Permukaan dan Komposisi Unsur

Analisis morfologi permukaan dan komposisi unsur menggunakan instrumen *Scanning Electron Microscopy-Energy Dispersive X-ray* (SEM-EDX), merk TESCAN. SEM adalah analisis yang didasarkan pada analisis spektral radiasi sinar-X hingga memunculkan data kuantitatif dan kualitatif. Karakterisasi dengan SEM dapat memberikan informasi mengenai jenis-jenis mineral yang terdapat dalam suatu elemen dan dapat mengetahui sifat fisik dan kimia dari mineral tersebut. Menurut Julinawati dkk. (2015), analisis area digunakan sebagai cara untuk menganalisis sampel. Sampel dihadapkan dengan sinar elektron, yang mana sebelum sinar elektron membentuk atau mengenai sampel maka sinar elektron tersebut difokuskan menggunakan elektron optik *coloumb*. Kemudian setelah sampel mengenai sinar elektron, akan terjadi interaksi yang akan terdeteksi oleh instrumen SEM. Visualisasi dari instrumen SEM-EDX merk TESCAN terlihat pada gambar 2.3.



Gambar 2.3. SEM-EDX merk TESCAN

Sumber : Peneliti, (2023)

Prinsip kerja dari SEM adalah interaksi antara sampel dengan elektron yang ditembakkan dari katoda filamen, sehingga elektron kehilangan sejumlah energi yang menyebabkan terjadinya pemantulan dan emisi elektron. Detektor

akan mendeteksi dari hasil pemantulan dan emisi elektron yang divisualisasikan menjadi gambar morfologi pada SEM menurut S. Aminah, (2017), dan persentase unsur-unsur dari sampel yang ditampilkan dalam bentuk grafik atau diagram EDX (Julinawati dkk., 2015). Kelebihan SEM-EDX yaitu pembesaran yang lebar. Kristal yang terbentuk akan menunjukkan morfologi partikel yang merupakan kerangka dari jaring tetrahedral SiO_4 dan AlO_4 (Muis dkk., 2019).

2.2.8.3 Analisis Komposisi Unsur Kimia

Analisis komposisi unsur kimia menggunakan instrumen *X-ray Fluoresensi* (XRF), merk AMETEK. XRF adalah instrumen yang dapat mengidentifikasi dan menentukan konsentrasi atau komponen kimia dalam padatan, cairan, maupun bubuk dengan metode non destruktif menggunakan analisis sinar X. Peristiwa efek fotolistrik menggambarkan proses analisis ini, karena elektron dalam atom sampel terkena sinar berenergi tinggi (Sari dkk., 2014). Analisis XRF dapat mengidentifikasi elemen major, seperti Si, Ti, Al, Fe, Na, K, P, Mg, Ca dan Mn, serta elemen minor (> 1 ppm) seperti Ce, Ni, Cu, Zn (Jafar, 2017). Berikut gambar 2.4 yang merupakan visualisasi dari XRF merk AMETEK.



Gambar 2.4. XRF merk AMETEK

Sumber : Peneliti, (2023)

Prinsip kerja dari XRF ini yaitu sinar-X primer dari tabung sinar-X (*X-Ray Tube*) akan memancarkan sinarnya ke sampel. Apabila sampel terkena radiasi dari tabung sinar-X, maka elektron dalam bahan tersebut akan tereksitasi ke tingkat energi yang lebih rendah dengan memancarkan sinar-X karakteristik. Sinar-X tersebut terjadi karena adanya gabungan spektrum sinambung dan spektrum berenergi tertentu (*discreet*) yang berasal dari bahan sasaran yang tertumbuk

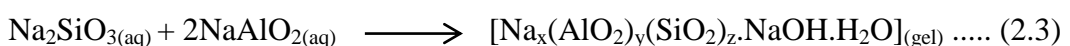
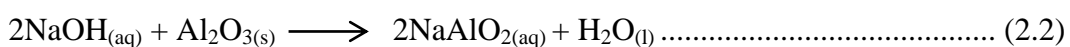
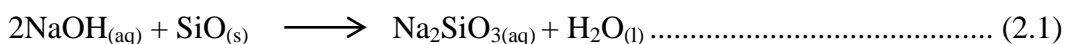
elektron. Kemudian, sinar-X tersebut diserap oleh detektor dan diubah ke dalam sinyal tegangan (*voltage*), kemudian data diolah yang diperkuat oleh *preamp* dan dimasukkan ke *analyzer* sekitar 10 menit (Syafaat & Huttur, 2020).

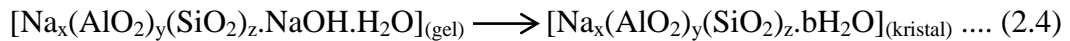
2.2.9 Hidrotermal

Hidrotermal terbentuk dari kata ‘hidro’ yang berarti air dan ‘termal’ yang berarti panas, sehingga metode hidrotermal yaitu merubah larutan menjadi padatan karena adanya panas dan air. Hidrotermal adalah suatu proses pembentukan mineral atau kristal yang terjadi disekitar sumber panas akibat adanya injeksi terhadap air (Putri dkk., 2016). Hidrotermal merupakan penggunaan temperatur dan tekanan tinggi, sehingga menghasilkan kristal atau pertumbuhan kristal. Hidrotermal dilakukan pada suhu dibawah 300°C dan di atas titik didih yaitu 100°C (Putri dkk., 2016). Kondisi hidrotermal terjadi karena adanya tekanan tinggi di atas tekanan atmosfer (Assolah, 2015).

Prinsip hidrotermal adalah memecahkan ikatan-ikatan senyawa *amorf* yang terjadi dalam wadah tertutup, sehingga dapat menurunkan nilai tegangan pada material yang dapat meningkatkan ukuran kristal (Husein dkk., 2019). Adanya air berfungsi sebagai pelarut, karena dapat mempercepat reaksi dan transfer tekanan untuk mengubah sifat fisika dan kimia dari produk dan reaktan (Johnson & Arshad, 2014). Hidrotermal menjadi pilihan terbaik untuk mensintesis zeolit, karena terbentuknya serbuk secara langsung; ukuran partikel dan bentuk partikel yang homogen; kereaktifan serbuk yang dihasilkan tinggi; kristalinitas tinggi; kemurnian tinggi; oksida logam dapat mudah larut (Putri dkk., 2016).

Mekanisme yang terjadi pada proses hidrotermal yaitu terlarutnya padatan dalam air dan difusi zat terlarut. Proses tersebut meliputi modifikasi tekstur atau struktur pada suatu padatan. Reduksi pada luas permukaan dan peningkatan ukuran partikel serta pori disebabkan karena perubahan tekstur. Adapun reaksi hidrotermal yang terjadi, sebagai berikut (Putranto dkk., 2015):





2.2.10 Alumunium

Alumunium foil memiliki karakteristik bahan yang terbuat dari logam yang kuat, ringan, tahan panas, kedap udara dan tidak mengandung magnet (Ariani & Mahmudah, 2017). Keberadaan alumunium foil pada kaleng tidak semata-mata bernilai ekonomis, akan tetapi dapat menghasilkan limbah. Limbah alumunium foil terbagi menjadi dua macam, yaitu kaleng minuman (*soft drink*) dan minuman bir yang termasuk limbah padat alumunium primer, serta bingkai jendela dan pintu alumunium yang termasuk limbah padat alumunium sekunder (Hakim & Marsalin, 2017). Sumber alumina pada pembuatan zeolit diperoleh dari alumunium kaleng yang mengandung 99% alumunium (Nugroho & Redjeki, 2015). Menurut Hakim & Marsalin, (2017) menyatakan bahwa sifat kimia alumina dapat bereaksi dengan basa terutama natrium hidroksida. Alumina berperan sebagai asam, sehingga natrium hidroksida dapat melarutkan alumunium dan menghasilkan larutan natrium aluminat. Alumunium kaleng bekas dapat ditunjukkan pada gambar 2.5.



Gambar 2.5. Alumunium Kaleng Bekas

Sumber : Peneliti, (2023)

2.2.11 Daun Nipah

Nipah (*Nypa fruticans* Wurmb) merupakan tumbuhan yang dapat dijumpai di sekitar sungai yang dipengaruhi pasang surut laut dan termasuk kedalam jenis palam-palaman. Tanaman nipah dapat ditemukan di wilayah Kalimantan, Sumatra, Jawa, Sulawesi, Maluku dan Irian Jaya dengan luas daerah 7 juta Ha atau sekitar 700.000 Ha (Mulyadi dkk., 2013). Bagian nipah mulai dari daunnya sampai dengan serabut nipah dapat dimanfaatkan dalam berbagai aspek. Hal

tersebut menghasilkan limbah, terkhusus daun nipah. Daun nipah memiliki karakteristik sama dengan daun kelapa yang memiliki potensi sebagai sumber silika (SiO_2) menurut Anuar dkk. (2018), dengan komposisi terbesar dibandingkan dengan bagian nipah lainnya sebesar 0,8% (Tamunaidu & Saka, 2011). Gambar 2.6 menunjukkan tumbuhan Nipah.



Gambar 2.6. Nipah (*Nypa fruticans* Wurm))

Sumber : Peneliti, (2023)

Adapun klasifikasi Tanaman Nipah, sebagai berikut :

Klasifikasi Tanaman Nipah

Kingdom	: Plantae
Sub Kingdom	: Tracheobinta
Super Divisi	: Spermatophyta
Divisi	: Magnoliophyta
Kelas	: Liliopsida
Sub Kelas	: Arecidae
Ordo	: Arecales
Famili	: Arecaceae
Genus	: <i>Nypa</i>
Spesies	: <i>Nypa fruticans</i> Wurm

Dalam 1 buah nipah memiliki berat rata-rata sekitar 147,87 gram yang terdiri dari daun dan tempurung 112,2 gram (75,88%) dan daging buah sebanyak 35,67 gram (24,12%) (Safariyanti dkk., 2018). Karakteristik Nipah secara kimiawi mengandung silika, selulosa, hemiselulosa, lignin serta kandungan unsur anorganik (Syabana & Widiastuti, 2018).

2.2.12 Silika

Silika adalah senyawa kimia yang memiliki rumus kimia SiO_2 (*Silikon dioksida*). Silika merupakan gabungan antara senyawa silikon dan oksida. Struktur tetrahedron terbentuk karena adanya ikatan antara silikon dan oksigen. Struktur kimia silika berupa tetrahedron ditunjukkan pada gambar 2.7.



Gambar 2.7. Struktur Tetrahedron Silika (SiO_2)

Sumber: Winanti dkk. (2017)

Sifat unik yang dimiliki silika menjadi ciri khas yang tidak dimiliki oleh senyawa anorganik lain, seperti sifat adsorpsi dan pertukaran ion yang baik, kestabilan mekanik dan termal yang tinggi, mudah dimodifikasi dengan senyawa kimia tertentu untuk meningkatkan kinerjanya (Purnawan dkk., 2018). Padatan atau serbuk halus yang berwarna putih serta memiliki daya tahan tinggi dan tidak larut dalam air menjadi ciri-ciri fisis dari silika (Sinaga & Asmi, 2015).

2.2.13 Adsorpsi

Adsorpsi atau penyerapan merupakan proses pemisahan komponen tertentu dari suatu fluida ke suatu permukaan zat padat penyerap (adsorben) (Ardhiany, 2019). Adsorben (zat pengadsorpsi) yaitu material yang memiliki pori. Proses adsorpsi terjadi pada dinding pori-pori dalam partikel adsorben. Pada adsorben memiliki pori-pori dalam jumlah besar dan adanya perbedaan energi yang menyebabkan adsorben dapat menjerap suatu komponen. Berat molekul, luas permukaan, dosis adsorben, pH, temperatur, dan waktu kontak proses merupakan faktor yang memengaruhi proses adsorpsi (Shafirinia dkk., 2016).

Proses adsorpsi terbagi menjadi dua, yaitu adsorpsi fisika dan adsorpsi kimia. Adsorpsi fisika merupakan adsorpsi yang berjalan *reversible*, hal tersebut

terjadi karena gaya tarik menarik antara adsorben dan zat terlarut lebih besar dengan pelarutnya. Adsorpsi kimia merupakan adsorpsi yang berjalan tidak *reversible*, akibat dari adanya interaksi antara zat padat (adsorben) dengan adsorbat melalui pembentukan ikatan kimia. Adsorpsi kimia terjadi pada saat adsorpsi fisika telah dilalui. Adsorpsi akan membentuk ikatan kimia atau kovalen karena adanya partikel yang melekat pada permukaan, hal tersebut disebabkan karena adsorpsi secara kimia (Shafirinia dkk., 2016). Oleh karena itu, sifatnya lebih spesifik daripada adsorpsi fisika.

2.2.13.1 Sistem Adsorpsi

Proses adsorpsi digambarkan melalui 2 (dua) macam sistem yaitu sistem statis (*batch*) dan sistem dinamis (kontinyu/kolom), adapun penjelasannya sebagai berikut (Shafirinia dkk., 2016) :

a. Sistem *Batch*

Sistem adsorpsi secara *batch* yaitu proses penyerapan dimana terjadi dalam selang waktu tertentu, yang mana adsorben dicampurkan dengan larutan dalam jumlah tetap dan perubahan kualitasnya diamati. Metode ini yang paling umum dilakukan.

b. Sistem Kontinyu/kolom

Proses adsorpsi sistem dinamis (kontinyu/kolom) yaitu proses adsorpsi dimana larutan sampel dikontakkan dengan adsorben. Sistem kontinyu ini berlaku pada proses pengolahan limbah cair dalam skala besar, seperti yang diimplementasikan di industri.

2.2.13.2 Faktor-faktor yang Mempengaruhi Adsorpsi

Adsorpsi merupakan suatu proses penjerapan gas atau larutan pada suatu permukaan. Zat yang diserap disebut adsorbat, sedangkan zat yang menyerap disebut adsorben. Secara umum faktor-faktor yang mempengaruhi proses adsorpsi, sebagai berikut (Legiso dkk., 2019) :

a. Luas Permukaan

Luas permukaan mempengaruhi zat yang teradsorpsi, semakin luas permukaan maka zat yang teradsorpsi akan semakin meningkat. Luas permukaan ditentukan dari ukuran partikel dan jumlah dari adsorben.

b. Konsentrasi Adsorbat

Konsentrasi adsorbat akan sebanding dengan jumlah substansi yang terkumpul pada permukaan adsorben dalam larutan.

c. Suhu dan Konsentrasi Zat Terlarut

Adanya pemanasan akan menyebabkan pori-pori adsorben lebih terbuka. Namun adsorben dapat rusak apabila pemanasannya terlalu tinggi, sehingga kemampuan penyerapannya menurun. Senyawa yang mudah menguap maka proses adsorpsi dilakukan pada suhu rendah.

d. pH

pH menyebabkan kelarutan ion logam dalam larutan, sehingga mempengaruhi muatan permukaan adsorben yang mengubah kemampuannya dalam menyerap senyawa organik dan anorganik.

e. Pengadukan

Kecepatan adsorpsi bergantung pada kecepatan pengadukan. Pengadukan yang kuat menyebabkan difusi pori mencapai optimum, karena memberi kesempatan pada partikel untuk bersinggungan dengan senyawa serapan.

f. Daya Larut terhadap Adsorben

Gaya untuk melarutkan *solute* atau adsorbat dipengaruhi oleh daya kelarutan, karena berlawanan dengan gaya tarik adsorben terhadap adsorbat.

g. Jumlah Adsorben

Berat atau dosis adsorben sebanding dengan banyaknya adsorbat yang di adsorpsi. Hal tersebut karena adsorben mempunyai ukuran partikel seragam yaitu mempunyai luas permukaan per satuan luas yang tetap.

2.2.13.3 Kinetika Adsorpsi

Kinetika adsorpsi merupakan pendekatan untuk menggambarkan laju adsorpsi terhadap pengaruh waktu (Munira dkk., 2022). Kinetika adsorpsi

digambarkan dengan model *pseudo first order* (orde satu semu) dan *pseudo second order* (orde dua semu) (Rahayu & Nurhayati, 2023). Permodelan *pseudo first order* menggambarkan mekanisme adsorpsi dengan laju yang cepat dengan rentang waktu yang pendek. Permodelan *pseudo second order* menggambarkan mekanisme adsorpsi pada rentang waktu yang relatif panjang dengan proses yang lambat (Rosita dkk., 2022). Pengaruh variasi waktu kontak perlu diketahui untuk mengetahui laju adsorpsi yang terjadi pada adsorben, hal tersebut ditunjukkan dengan kinetika adsorpsi. Kesetimbangan adsorpsi dicapai dengan waktu kontak yang digambarkan sebagai ukuran laju adsorpsi (Haryanto dkk., 2019).

2.3 Hipotesis

Hipotesis didalam penelitian ini, sebagai berikut :

1. Karakteristik unsur kimia yang terkandung dalam abu daun nipah terdiri dari unsur Si, Na, Mg, Al, P, S, Cl, K, dan Ca dengan persentase nilai Si lebih dari 0,8%; persentase nilai Na lebih dari 0,4%; persentase nilai Mg lebih dari 0,3%; persentase nilai P lebih dari 0,3%; persentase nilai S lebih dari 0,5%; persentase nilai Cl lebih dari 0,7%; persentase nilai K lebih dari 1,6%; dan persentase nilai S lebih dari 0,5%. Adapun karakteristik unsur kimia yang terkandung dalam alumunium kaleng bekas terdiri dari unsur Al, Mg, Mn, Fe, Si, Cu dengan persentase nilai Al lebih dari 50%; persentase nilai Mg lebih dari 1%; persentase nilai Mn lebih dari 0,5%; persentase nilai Fe lebih dari 0,5%; persentase nilai Si lebih dari 0,1%; persentase nilai Cu lebih dari 0,1%.
2. Komposisi rasio molar Si/Al yang optimal terhadap analisis morfologi dan unsur, analisis gugus fungsi senyawa pada zeolit sintesis yaitu pada rasio molar $\text{Si/Al} \geq 1,7$.
3. Waktu kontak optimum adsorpsi zeolit sintesis pada limbah cair sisa analisis COD yang mengandung logam berat Krom (Cr), pH, suhu, COD, dan TDS menggunakan zeolit sintesis dengan komposisi rasio molar Si/Al terbaik ($\text{ZSR} \geq 1,7$) yaitu lebih dari 30 menit.