

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Terdahulu

Tanaman nipah (*Nypa fruticans*) tumbuh di hutan daerah pasang surut yang termasuk ke dalam kawasan hutan mangrove dan muara sungai yang berair payau (Hadi *et al.*, 2014). Hampir semua bagian tanaman nipah dapat dimanfaatkan, yaitu bagian mayang (nira), daun, pelepah daun, dan buah nipah. Bagian tanaman nipah yang selama ini belum banyak dimanfaatkan adalah pelepah daun (Putri & Anita, 2018). Pelepah nipah memiliki kandungan selulosa sebesar 42,22% dan lignin 19,85 (Wijana *et al.*, 2013).

Adanya kandungan selulosa yang tinggi dapat berperan dalam pembentukan karbon aktif. Penelitian yang dilakukan (Hakim *et al.*, 2022) kemampuan karbon aktif dari tempurung nipah dalam menjerap gas H₂S yang terkandung dalam limbah ikan dalam penurunan konsentrasi H₂S dengan aktivasi NaOH. Gas H₂S akan dideteksi oleh sensor MQ-136 seperti penelitian yang dilakukan oleh (Pamungkas *et al.*, 2018).

Berikut ini merupakan ringkasan dari penelitian terdahulu yang peneliti jadikan sebagai acuan dalam proses pembuatan adsorben karbon aktif dari pelepah nipah teraktivasi asam, basa, dan garam untuk penjerapan gas asam sulfida (H₂S) limbah padat ikan.

Tabel 2. 1 Ringkasan Penelitian Terdahulu

No.	Nama Belakang Peneliti (Tahun)	Tujuan	Hasil	Perbedaan
1.	Wijana (2013)	Variasi NaOH pada pembuatan pulping serat pelepah nipah	Hasil penelitian menunjukkan bahwa pada serat pelepah nipah	Tujuan penelitian, variasi NaOH

No.	Nama Belakang Peneliti (Tahun)	Tujuan	Hasil	Perbedaan
		terhadap kandungan selulosa dan lignin	dengan konsentrasi terbaik pada larutan NaOH 20% dengan kadar selulosa sebesar 38,50% dan kadar lignin 7,02%.	
2.	Puspita (2016)	Pembuatan karbon aktif untuk desulfurisasi batubara, dilakukan menggunakan metode aktivasi secara kimia dengan <i>activating agentnya</i> HNO ₃ 45%.	Karbon aktif yang optimal digunakan untuk desulfurisasi gas hasil gasifikasi gas batubara adalah karbon aktif yang dibuat dengan perbandingan sampel 1:3 dengan waktu perendaman 60 menit dan dikarbonisasi pada suhu 800°C yang memiliki gugus fungsi dengan ikatan O-H, C=C dan C=O.	Konsentrasi HNO ₃

No.	Nama Belakang Peneliti (Tahun)	Tujuan	Hasil	Perbedaan
3.	Ariyani (2017)	Pemanfaatan kulit singkong sebagai bahan baku karbon aktif dengan variasi NaOH (0,1 N; 0,2 N; dan 0,3 N) dan suhu (300°C, 500°C, dan 700°C) pada penyerapan logam Fe dan Mn pada air sungai	Hasil terbaik untuk penyerapan logam Fe yaitu pada suhu 700°C dan konsentrasi NaOH 0,3 N didapatkan konsentrasi penyerapan sebesar 0 mg/ml (tidak terdeteksi), sedangkan untuk logam Mn pada suhu 300°C dan konsentrasi NaOH 0,3 N didapatkan konsentrasi penyerapan sebesar 0,213 mg/ml.	Tujuan penelitian, bahan baku adsorben
4.	Pamungkas (2018)	Rancangan dan pembuatan <i>Hydrogen Sulphide Alert System</i> untuk mendeteksi adanya paparan konsentrasi H ₂ S di perusahaan	<i>Integrated hydrogen sulphide alert system</i> mampu mendeteksi dengan baik paparan gas H ₂ S dan	Tujuan penelitian

No.	Nama Belakang Peneliti (Tahun)	Tujuan	Hasil	Perbedaan
			terintegrasi langsung dengan <i>safety equipment</i> seperti <i>sirine</i> , <i>warning light</i> , <i>solenoid valve</i> dan <i>exhaust fan</i> .	
5.	Fahruzi (2019)	Penyisihan gas H ₂ S pada biogas dengan metode adsorpsi menggunakan karbon aktif aktivasi K ₂ CO ₃ dengan variasi ukuran partikel karbon aktif dan variasi laju alir biogas	Penyisihan gas H ₂ S terbaik dengan penggunaan karbon aktif dengan laju alir 0,75 L/menit pada ukuran partikel 60 mesh dengan kadar gas H ₂ S sebesar 0,32 x 10 ⁻² ppm	Sumber gas H ₂ S, konsentrasi aktivator, ukuran partikel karbon aktif
6.	Ikhsan (2021)	Karakteristik biosorben pelepah nipah dan menentukan kondisi optimum ukuran partikel dan waktu kontak	Biosorben pelepah nipah memiliki kandungan selulosa	Tujuan penelitian

No.	Nama Belakang Peneliti (Tahun)	Tujuan	Hasil	Perbedaan
		dalam penurunan kadar merkuri.		
7.	Amalia (2022)	Menguji kemampuan karbon aktif dari tempurung nipah dalam menjerap gas H ₂ S yang terkandung dalam limbah ikan dalam besaran penurunan konsentrasi H ₂ S dengan aktivasi NaOH 5 M dan KOH 5M.	Karbon aktif dengan aktivasi NaOH 5M dan KOH 5M dapat menurunkan kadar gas H ₂ S pada limbah padat ikan sebesar 100%. Dan untuk seluruh pengujian karakteristik karbon aktif telah memenuhi baku mutu SNI 06-3730-1995.	Bahan baku adsorben, massa karbon aktif yang digunakan
8.	Hakim (2022)	Menguji kemampuan karbon aktif dari tempurung nipah dalam menjerap gas H ₂ S yang terkandung dalam limbah ikan dalam besaran penurunan	Penurunan kadar H ₂ S pada limbah ikan dengan jumlah adsorben 20, 30, dan 40 gram masing-masing adalah 33,497 ppm (71,15%), 33,452	Bahan baku adsorben, ukuran adsorben karbon aktif, massa adsorben

No.	Nama Belakang Peneliti (Tahun)	Tujuan	Hasil	Perbedaan
		konsentrasi H ₂ S dengan aktivasi NaOH dan dengan variabel berupa jumlah adsorben 20, 30, dan 40 gram.	ppm (71,05%), dan 34,381 ppm (73,03%).	
9.	Putri (2022)	Pengaruh waktu iradiasi <i>microwave</i> terhadap karakteristik arang pelepah daun nipah (<i>Nypa fruticans</i>) sebagai adsorben.	Hasil karakterisasi menunjukkan bahwa waktu iradiasi <i>microwave</i> terbaik adalah selama 5 menit dengan kadar air 0,59%; kadar abu 13,53%; daya jerap terhadap yodium 592,7599mg/g; dan daya jerap terhadap metilen biru 11,0804 mg/g.	Tujuan penelitian, waktu kontak

Unsur kebaruan dari penelitian ini yaitu bahan baku pelepah nipah untuk pembuatan adsorben karbon aktif, dan penambahan penggunaan aktivator lain seperti K₂CO₃ dan HNO₃.

2.2 Teori-Teori yang Relevan

2.2.1 Pirolisis

Pirolisis merupakan pemanasan suhu tinggi yang dilakukan tanpa kehadiran oksigen untuk mendekomposisi material berupa biomassa dan polimer. Proses pirolisis dapat dilakukan dengan beberapa cara yaitu pirolisis lambat (*slow pyrolysis*), pirolisis cepat (*fast pyrolysis*) dan pirolisis sangat cepat (*flash pyrolysis*). Setiap proses pirolisis terjadi pada suhu yang berbeda meliputi suhu tinggi antara 400 – 700°C terjadi pada pirolisis cepat dan suhu rendah antara 300 - 400°C terjadi pada pirolisis lambat (Ramadhani *et al.*, 2020). Pada saat proses tersebut, rantai panjang hidrokarbon akan terpotong menjadi rantai pendek (Syamsiro, 2015)

2.2.2 Limbah Ikan

Limbah ikan adalah sisa dari pemotongan ikan di pasar ikan maupun hasil sampingan dari industri pengolahan ikan baik skala kecil, menengah maupun besar (Tanjung *et al.*, 2022). Limbah ikan dapat berupa limbah cair maupun limbah padat. Limbah cair berupa air cucian dari pengolahan ikan, sedangkan limbah padat berupa tulang, daging, kepala, kulit, sisik, jeroan dan bahkan ikan hasil tangkapan dapat menjadi limbah (Daud *et al.*, 2020). Limbah ikan jika tidak dikelola dengan baik akan menimbulkan pencemaran bau yang menyengat, karena proses dekomposisi protein ikan. Penyebab timbulnya bau busuk pada limbah ikan adalah karena terjadi proses penguraian protein, ataupun hasil-hasil peruraian protein dalam proses autolisis serta substansi-substansi non nitrogen oleh bakteri. Proses ini menghasilkan pecahan-pecahan protein sederhana dan berbau busuk seperti amonia, indol, skatol, H₂S, dan lain-lain (Harahap *et al.*, 2013). Limbah ikan yang dibiarkan saja tanpa ada pengolahan lebih lanjut dapat berpotensi menimbulkan pencemaran udara berupa bau yang sangat menyengat sehingga berdampak bagi kesehatan masyarakat sekitar.

2.2.3 Pelepah Nipah

Nypa fruticans tumbuh berkelompok dan membentuk komunitas murni yang cukup luas disepanjang muara hingga sungai dengan air payau (Isnaeni *et al.*, 2019). Pelepah nipah memiliki kandungan selulosa sebesar 35,1%, hemiselulosa sebesar 26,4% dan lignin sebesar 19,85% (Andi, 2013).



Gambar 2. 1 Tanaman Nipah (Sumber : Peneliti, 2023)

Klasifikasi tumbuhan nipah adalah sebagai berikut :

- Kingdom : *Plantae*
- Divisi : *Magnoliophyta*
- Kelas : *Liliopsida*
- Ordo : *Arecales*
- Famili : *Areaceae*
- Genus : *Nypa*
- Spesies : *Fruticans*

2.2.4 Karbon aktif

Karbon aktif adalah bahan yang memiliki kemampuan adsorpsi yang tinggi dan terdiri dari lapisan hidrofobik dan permukaan hidrofilik yang bermanfaat untuk adsorpsi dan aplikasi katalitik. Karbon aktif merupakan senyawa karbon berasal dari material yang mengandung karbon atau arang dengan perlakuan khusus sehingga didapatkan pori– pori pada permukaan yang luas. Perlakuan khusus tersebut dilakukan dengan meningkatkan adsorpsinya melalui karbonisasi dan aktivasi. Sehingga menghasilkan karbon aktif dengan adsorpsi yang tinggi dan luas permukaan yang besar (Amalia, 2020).

Sifat yang paling utama dari karbon aktif adalah kemampuannya untuk menyerap. Sifat ini didasari pada padatan sifat karbon aktif yang memiliki luas permukaan atau pori-pori yang besar. Apabila suatu adsorbat dengan butiran karbon aktif yang berpori, maka molekul-molekul zat terlarut tertarik pada permukaan pori dan tertahan ditempat tersebut melauai gaya-gaya yang lemah (Pratama, 2017).

Berdasarkan bentuknya karbon aktif terdiri atas tiga jenis yaitu granular, pellet dan serbuk. Granular memiliki bentuk tidak beraturan dengan ukuran 0,2 – 5 mm yang diaplikasikan pada fase cair ataupun gas. Pellet merupakan karbon aktif berbentuk silinder kecil berukuran 0,8 – 5 mm yang diaplikasikan pada fase gas. Sedangkan, karbon aktif berbentuk serbuk memiliki ukuran <0,18 mm yang terbentuk melalui proses penghancuran untuk diaplikasi pada fase cair serta penyaringan pada gas buang (Amalia, 2020).

Sedangkan berdasarkan fungsinya karbon aktif dibedakan menjadi dua jenis yaitu karbon aktif sebagai pemucat dan karbon aktif sebagai penyerap. Fungsi karbon aktif sebagai pemucat digunakan untuk menghilangkan kontaminan pengganggu seperti bau dan warna yang digunakan pada industri baju dan industri kimia. Sedangkan, fungsi karbon aktif sebagai penyerap yaitu memiliki kemampuan daya serap tinggi yang mampu menyerap kelembaban atau bahan – bahan cair (Ramadhani *et al.*, 2020).

Karbon aktif selain mengandung karbon juga mengandung hidrogen dan oksigen yang terikat dalam berbagai gugus fungsi seperti gugus eter, karboksil, karbonil, fenol, lakton dan quion (Amalia, 2020).

2.2.5 Aktivasi

Aktivasi adalah proses perlakuan pada adsorben untuk memperbesar pori-pori, yaitu dengan cara memecahkan ikatan hidrokarbon atau mengoksidasi molekul-molekul permukaan sehingga karbon mengalami perubahan sifat kimia maupun fisika, yaitu luas permukaannya bertambah besar dan berpengaruh terhadap daya adsorpsi (Jamiatun *et.al*, 2014).. Aktivasi dibedakan menjadi 3 jenis yaitu (Winata *et al.*, 2015) :

1. Aktivasi termal

Aktivasi termal merupakan aktivasi yang dilakukan pemanasan dengan suhu di antara 700-1100°C. Aktivasi ini dilakukan dengan cara melakukan kontak antara karbon yang telah melalui proses karbonisasi dengan udara bebas atau oksigen tinggi yang akan membantu dalam proses pembesaran pori-pori pada karbon.

2. Aktivasi kimia

Aktivasi kimia adalah proses pemutusan rantai karbon dari senyawa organik dengan pemakaian bahan-bahan kimia. Bahan kimia akan masuk di lapisan heksagonal dan akan membuka permukaan tertutup. Keunggulan dari aktivasi ini memungkinkan terbentuknya luas permukaan yang besar.

3. Aktivasi kimia-fisika

Pada proses aktivasi kimia-fisika ini membutuhkan waktu yang lebih lama jika dibandingkan dengan aktivasi lainnya. Perlakuan yang dilakukan pada aktivasi ini yaitu dengan melakukan pengadukan karbon yang telah diberikan aktivator kimia dengan bantuan reaktor/pengaduk yang selanjutnya akan dilakukan proses pencucian hingga pH menunjukkan angka netral.

2.2.6 Aktivator

Aktivator adalah zat atau senyawa kimia yang berfungsi sebagai reagen pengaktif dan akan mengaktifkan atom-atom karbon sehingga daya serapnya menjadi lebih baik. Zat aktivator bersifat mengikat air yang menyebabkan air yang terikat kuat pada pori-pori karbon tidak hilang pada saat karbonisasi, kemudian zat aktivator akan memasuki pori dan membuka permukaan arang yang tertutup (Wardani, 2018). Pada aktivator asam karena senyawa ini memiliki stabilitas termal dan ikatan kovalen yang tinggi sehingga diharapkan aktivator ini dapat meningkatkan daya serap dan memaksimalkan potensi karbon aktif, selain itu aktivator ini berfungsi mengikat senyawa-senyawa pengotor bukan karbon yang menyebabkan pori pada karbon akan semakin terbuka. Aktivator yang bersifat basa yang digunakan karena sehingga dapat menghilangkan zat-zat pengotor dalam karbon seperti volatil dan tar karena itu karbon yang dihasilkan akan lebih berpori. Aktivator yang bersifat garam digunakan karena aktivator ini juga dapat menghilangkan zat-zat pengotor yang ada pada karbon (Arif, 2015).

2.2.7 Adsorpsi

Adsorpsi (*adsorption*) adalah proses pemisahan komponen tertentu dari suatu fluida kesuatu permukaan zat padat penyerap (adsorben). Menurut (Esterlita, 2015) bahwa adsorpsi dapat dikelompokkan menjadi dua, yaitu (Fahruzi, 2019):

1. Adsorpsi Fisika

Gaya tarik menarik antara adsorbat dengan permukaan adsorben sering disebut dengan Gaya Van der Waals. Gaya ini yang menyebabkan terjadinya adsorpsi fisika. Adsorpsi fisika bersifat relatif lemah, pada proses ini adsorbat tidak terikat kuat pada adsorben sehingga adsorbat dapat bergerak dari suatu bagian permukaan adsorben ke bagian permukaan adsorben lainnya dan pada permukaan yang ditinggal oleh adsorbat tersebut dapat digantikan oleh adsorbat lainnya. Jika kondisi operasi dari proses adsorpsi ini diubah laju penyerapannya bisa *reversibel*, maka akan membentuk kesetimbangan yang baru. Proses adsorpsi fisika terjadi tanpa memerlukan energi aktivasi. Ikatan yang terbentuk dalam adsorpsi ini dapat diputuskan dengan mudah yaitu dengan pemanasan pada temperatur sekitar 150-200°C selama 2-3 jam.

2. Adsorpsi Kimia

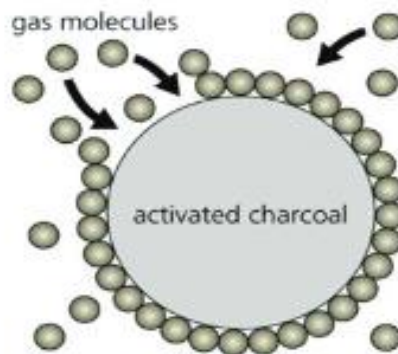
Ikatan kimia antara molekul-molekul adsorbat dengan adsorben membentuk ikatan yang kuat yang menyebabkan terjadinya adsorpsi kimia. Pada proses ini ikatan kimia yang kuat tadi membentuk lapisan yang merupakan lapisan monolayer. Adsorpsi kimia bersifat *irreversibel*.

Mekanisme yang terjadi pada proses adsorpsi yaitu (Sidoarjo, 2016):

1. Molekul-molekul adsorben berpindah dari fase bagian terbesar ke permukaan antara adsorben yaitu lapisan film yang melapisi permukaan adsorben.
2. Molekul-molekul adsorben berpindah dari permukaan antara adsorben ke permukaan luar.
3. Molekul-molekul adsorbat berpindah dari permukaan luar adsorben, dimana molekul tersebut menyebar menuju pori-pori adsorben.
4. Molekul-molekul adsorbat menempel pada permukaan pori-pori adsorben.

Faktor-faktor yang dapat mempengaruhi proses adsorpsi dari karbon aktif adalah laju alir gas, konsentrasi adsorbat, jenis adsorbat, tekanan adsorben, luas permukaan adsorben (Amalia, 2021). Kemampuan adsorpsi karbon aktif juga

dipengaruhi oleh adanya gugus fungsi dari karbon aktif. Aktivasi dengan aktivator tersebut akan memberikan pengaruh terhadap gugus fungsi pada karbon aktif. Peningkatan gugus fungsi terjadi karena adanya reaksi *ion exchange*, dimana gugus fungsi dari aktivator yang menempel pada karbon aktif akan digantikan oleh gugus -OH pada pencucian dengan aquades. Adanya gugus -OH ini menyebabkan permukaan karbon aktif bersifat hidrofilik sehingga molekul-molekul polar (senyawa organik) seperti fenol akan berinteraksi lebih kuat daripada molekul-molekul non polar (Arif, 2015).



Gambar 2. 2 Proses Metode Adsorpsi (Sumber : Raouf, 2016)

2.2.8 Adsorben

Adsorben adalah zat padat yang dapat menjerap komponen tertentu yang berasal dari fluida. Adsorben terbuat dari bahan-bahan yang memiliki pori serta dalam proses adsorpsi dapat berlangsung pada dinding pori adsorben. Adsorben dapat dikelompokkan menjadi 2 yaitu kelompok polar dan kelompok non polar. Jenis adsorben yang termasuk dalam adsorben polar (hidrofilik) adalah silika gel dan zeolite. Sedangkan jenis adsorben non polar (hidrofobik) adalah karbon aktif (Nurmanita, 2019).

Adsorben dapat digolongkan menjadi 2, yaitu (Zulfa, 2014) :

1. Adsorben Berpori

Adsorben berpori memiliki luas permukaan berkisar antara 100-1000 m²/gram. Adapun beberapa jenis adsorben berpori antara lain alumina, karbon aktif, silika gel, dan *zeolite*.

2. Adsorben Tidak Berpori

Adsorben tidak berpori dapat diperoleh dengan cara presipitasi deposit kristalin. Adsorben ini tidak mempunyai luas permukaan yang kecil yaitu $<10 \text{ m}^2/\text{gram}$. Adapun bahan adsorben yang tidak berpori seperti *filler* karet.

2.2.9 Gas H₂S

Hidrogen sulfida (H₂S) merupakan suatu gas tidak berwarna, sangat beracun, mudah terbakar dan memiliki karakteristik bau telur busuk. Gas ini dapat menyebabkan dampak yang buruk bagi kesehatan, terutama pada saluran pernafasan. Apabila terhirup ke dalam saluran pernapasan dapat menyerang paru-paru, menyebabkan iritasi, dan menimbulkan sakit kepala yang disertai batuk kronis serta dapat menyebabkan kehilangan kesadaran (Rifa *et al.*, 2016). Dampak yang ditimbulkan dari gas H₂S tergantung pada berapa lama orang tersebut terpapar. Adapun dampak gas H₂S terhadap manusia sesuai konsentrasinya (Herlianty, 2013):

Tabel 2. 2 Dampak Gas H₂s terhadap Manusia sesuai Konsentrasi

Konsentrasi gas H ₂ S (ppm)	Dampak yang ditimbulkan
0,13	Bau minimal yang masih terasa.
4,6	Mudah dideteksi, bau yang sedang.
10	Permulaan iritasi mata dan mulai berair.
27	Bau yang tidak sedap dan tidak dapat ditoleransi lagi.
100	Batuk-batuk, iritasi mata dan indra penciuman yang sudah tidak berfungsi.
200-300	Pembengkakan mata dan rasa kekeringan dikerongkongan.
500-700	Kehilangan kesadaran dan bisa mematikan dalam waktu 30 menit sampai 1 jam.
>700	Kehilangan kesadaran dengan cepat dan berlangsung kematian

(Sumber : Herlianty, 2013)

2.2.10 Sensor MQ-136

Sensor MQ-136 merupakan sensor yang dapat mendeteksi fenomena fisis konsentrasi gas belerang dengan rentang pembacaan antara 1 sampai dengan 100 ppm (*parts per million*). Terjadinya perubahan kecepatan udara pada gas menyebabkan konsentrasi gas juga ikut berubah, hasil estimasi perubahan kecepatan udara yang mengenai gas dan akan mempengaruhi kemampuan pembacaan data oleh sensor (Pristianto *et al.*, 2019). Material yang digunakan sensor MQ-136 berupa inkoporsi oksida timah, yang tingkat konduktivitasnya rendah pada udara bersih dan akan semakin meningkat saat terpapar oleh gas sulfur, nilai konduktivitas sensor berbanding terbalik dengan konsentrasi gas yang dideteksi. MQ-136 sebagai sensor karena sensor ini sangatlah peka terhadap gas Hidrogen Sulfida (H_2S) (Pamungkas *et al.*, 2018).

2.2.11 SNI 06-3730-1995

SNI 06-3730-1995 tentang Syarat Mutu Arang Aktif Teknis seperti pada tabel dibawah ini:

Tabel 2. 3 Syarat Mutu Arang Aktif Teknis Menurut SNI 06-3730-1995

No.	Uraian	Satuan	Persyaratan	
			Butiran	Serbuk
1.	Bagian yang hilang pada pemanasan 950 °C	%	Maks. 15	Maks. 25
2.	Kadar air	%	Maks. 4,4	Maks. 15
3.	Kadar abu	%	Maks. 2,5	Maks. 10
4.	Bagian yang tidak terarang	-	Tidak ternyata	Tidak ternyata
5.	Karbon aktif murni	%	Min. 80	Min. 65

No.	Uraian	Satuan	Persyaratan	
			Butiran	Serbuk
6.	Daya serap terhadap yodium	mg/g	Min. 750	Min. 750
7.	Daya serap terhadap benzena	-	Min. 25	-
8.	Daya serap terhadap metilen blue	ml/g	Min. 60	Min. 120
9.	Kerapatan jenis curah	g/ml	0,45 – 0,55	0,30 – 0,35
10.	Lolos ukuran mesh 325	%	-	Min. 90
11.	Jarak mesh	%	90	-
12.	Kekerasan	%	80	-

(Sumber : *Badan Standarisasi Nasional, 1995*)

2.2.12 *Fourier Transform Infrared (FTIR)*

Fourier Transform Infrared (FTIR) adalah alat instrumen dengan menggunakan spektroskopi sinar infra merah dengan rentang panjang gelombang $400\text{ cm}^{-1} - 4000\text{ cm}^{-1}$. Pengujian gugus fungsi dilakukan untuk mengetahui ikatan kimia dan gugus fungsi dari masing-masing sampel. Selain itu, karakterisasi dengan menggunakan FTIR bertujuan untuk identifikasi karbon aktif. Analisis dilakukan dengan melihat bentuk spektrumnya yaitu dengan melihat puncak-puncak spesifik yang menunjukkan jenis gugus fungsional yang dimiliki oleh karbon aktif (Hanum *et al.*, 2017)