

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Terdahulu

Penelitian menurut (Widyastuti *et al.*, 2013) tentang pembuatan karbon aktif dari cangkang sawit sebagai adsorben gas dalam biogas hasil fermentasi anaerobik sampah anaerobik. Pada penelitian menggunakan aktivasi secara fisika dan kimia. Aktivasi fisika dengan cara dipanaskan dengan suhu 600°C selama 1,5 jam. Sedangkan aktivasi kimia menggunakan H₃PO₄ dengan konsentrasi 10%. Dengan hasil cangkang kelapa sawit memiliki potensi yang besar sebagai adsorben karbon aktif. Peningkatan kadar CO₂ dalam biogas yang diserap dengan adsorben karbon aktif kimia dengan H₃PO₄ sebesar 93,9% dan dibandingkan menggunakan karbon aktif komersial sebesar 87,1%.

Penelitian menurut (Iriani & Heryadi, 2014) tentang penurunan konsentrasi gas CO₂ didalam biogas dengan menggunakan metode adsorpsi. Karbon aktif yang digunakan berasal dari batok kelapa yang diaktivasi dengan ukuran granula. Alat kolom adsorpsi berkapasitas 2,43 L digunakan untuk pemurnian biogas. Hasil pengukuran kandungan biogas sebelum masuk kolom adsorben menghasilkan CO₂ sebesar 36,49% dan hasil kadar CO₂ setelah pemurnian turun sebesar 35,04%.

Penelitian menurut (Laba *et al.*, 2020) tentang karakteristik karbon aktif dari sekam padi dengan menggunakan aktivator KOH 5%. Sekam padi dikarbonisasi pada suhu 300°C selama 2 jam. Karbon sekam padi diaktivasi menggunakan KOH 5% direndam selama 24 jam. Karbon dicuci dan disaring hingga pH netral. Karbon aktif dikeringkan dengan suhu 105°C selama 3 jam. Karbon aktif dimasukkan ke dalam tanur pada suhu 300°C, 350°C, 400°C selama 2 jam. Karbon aktif diayak dengan ukuran 20 *mesh*. Tujuan dari penelitian ini yaitu untuk mengetahui karakteristik dari sekam padi sebelum diaplikasikan ke dalam proses adsorpsi. Hasil dari penelitian didapatkan suhu pemanasan terbaik pada 400°C dengan nilai masing-masing karakteristik karbon aktif dari sekam padi yaitu kadar air 0,92%, kadar abu 52,20%, kadar zat menguap 23,13% dan kadar karbon terikat 24,66%.

Tabel 2.1 Ringkasan Penelitian Terdahulu

No.	Nama Belakang Penelitian (Tahun)	Tujuan	Hasil	Perbedaan
1.	(Widyastuti <i>et al.</i> , 2013)	Mengetahui potensi cangkang sawit sebagai karbon aktif menggunakan aktivator H ₃ PO ₄ untuk menyerap gas pengotor dalam biogas.	Hasil penjerapan CO ₂ menggunakan adsorben karbon aktif dari cangkang sawit yang diaktivasi dengan H ₃ PO ₄ dapat menurunkan kadar CO ₂ sebesar 93,9%.	Bahan baku adsorben karbon aktif yaitu menggunakan pelepah nipah.
2.	(Iriani & Heryadi, 2014)	Mengetahui potensi batok kelapa sebagai karbon aktif untuk adsorben gas CO ₂ dalam pemurnian biogas.	Hasil pemurnian biogas menggunakan karbon aktif batok kelapa yang diaktivasi dapat menurunkan kadar CO ₂ 35,04%.	Bahan baku adsorben karbon aktif menggunakan pelepah nipah dan bahan aktivator karbon aktif menggunakan asam fosfat (H ₃ PO ₄).

No.	Nama Belakang Penelitian (Tahun)	Tujuan	Hasil	Perbedaan
3.	(Laba <i>et al.</i> , 2020)	Mengetahui karakteristik arang aktif dari sekam padi sebelum diaplikasikan kedalam proses adsorpsi.	Hasil suhu pemanasan terbaik untuk arang aktif sekam padi yaitu 400°C dan menggunakan aktivator KOH, dengan nilai masing-masing karakteristik karbon aktif dari sekam padi yaitu kadar air 0,92%, kadar abu 52,20, kadar karbon terikat 24,66%, dan zat menguap 23,13%.	Bahan baku adsorben karbon aktif menggunakan pelepah nipah dan aktivator menggunakan Asam fosfat (H ₃ PO ₄) dan karakteristik karbon aktif yang diuji yaitu kadar iodin, kadar <i>metheylene blue</i> .
4.	(Esterlita & Herlina, 2015)	Mengetahui pengaruh suhu karbonisasi (400°C, 500°C,	Hasil suhu dan jenis aktivator yang terbaik untuk karbon aktif pelepah	Bahan baku adsorben karbon aktif menggunakan pelepah nipah

No.	Nama Belakang Penelitian (Tahun)	Tujuan	Hasil	Perbedaan
4.		dan 600°C) yang optimal dan jenis aktivator (ZnCl ₂ , KOH, dan H ₃ PO ₄) yang terbaik pada pembuatan karbon aktif dari pelepah aren.	aren adalah H ₃ PO ₄ dan suhu karbonisasi 500°C yaitu memberikan nilai. Bilangan iodin sebesar 767,745 mg iodin/gram dan kadar airnya sebesar 6%.	dan dengan suhu karbonisasi 400°C.
5.	(Ikhsan <i>et al.</i> , 2021)	Mengetahui potensi pelepah nipah sebagai biosorben untuk penurunan kadar merkuri dan menentukan ukuran partikel (60 <i>mesh</i> , 80 <i>mesh</i> , dan 100 <i>mesh</i>) dan waktu kontak (30, 60, dan 90	Hasil penurunan kadar merkuri menggunakan biosorben pelepah nipah dengan aktivator HCl yaitu pada ukuran partikel dan waktu kontak yang optimum adalah 100 mesh dan	Pengaplikasian karbon aktif pelepah nipah pada penjerapan CO ₂ dan aktivator yang digunakan menggunakan H ₃ PO ₄ .

No	Nama Belakang Penelitian (Tahun)	Tujuan	Hasil	Perbedaan
5.		menit) yang optimum.	90 menit dengan besar daya serap 99,98%.	

2.2 Teori-Teori yang Relevan

2.2.1 Biogas

Biogas merupakan salah satu energi alternatif yang memiliki kelebihan yakni sumber energi terbarukan, murah, efisien, dan ramah lingkungan (Sylvia *et al.*, 2019). Biogas yaitu gas yang dihasilkan dari proses degradasi bahan-bahan organik oleh aktivitas mikroorganisme pada kondisi tanpa oksigen (anaerobik). Biogas dapat diproduksi dari kotoran ternak, limbah industri tahu atau sampah organik rumah tangga dan pasar (Ritonga *et al.*, 2021). Adapun komponen utama biogas terdiri dari metana (CH₄), karbondioksida (CO₂), hydrogen sulfida (H₂S), karbon monoksida (CO), nitrogen (N₂), dan uap air (Kurniati *et al.*, 2021). Kadar CO₂ dalam biogas menyebabkan turunnya nilai kalor pada biogas. Tingkat kemurnian gas metana yang cukup tinggi dan kandungan karbondioksida yang rendah dalam biogas menjadi hal yang perlu diperhatikan untuk menghasilkan pembakaran yang bagus. Sehingga perlu dilakukan pemurnian untuk menghilangkan gas pengotor agar mendapatkan biogas dengan kandungan gas metana yang tinggi (Susilo *et al.*, 2017).

Proses pembuatan biogas dilakukan secara fermentasi yaitu proses terbentuknya gas metana dalam kondisi anaerob dengan bantuan bakteri anaerob di dalam suatu digester sehingga akan dihasilkan gas metana (CH₄) dan gas karbon dioksida (CO₂) yang volumenya lebih besar dari gas hidrogen (H₂), gas nitrogen (N₂) dan gas hydrogen sulfid (H₂S). Proses fermentasi memerlukan waktu 7-10 hari

untuk menghasilkan biogas dengan suhu optimum 35°C dan pH optimum pada range 6,4-7,9. (Saleh *et al.*, 2015).

2.2.2 Karbon Dioksida (CO₂)

Karbon dioksida adalah gas yang dapat menyebabkan kualitas pembakaran biogas menurun. Karbon dioksida memiliki sifat asam yang dapat menyebabkan korosi, kandungan CO₂ dalam biogas harus lebih kecil dari 4% agar kalor yang dihasilkan tinggi dan agar mengurangi korosi. Komposisi CO₂ pada biogas untuk tiap substrat berbeda-beda contohnya kotoran sapi kandungan CO₂ 35-45%, sampah organik kandungan CO₂ 30-40%, dan kandungan CO₂ dari tempat pembuangan sampah 30-40% (Islamiah, 2014). Kadar CO₂ yang diperbolehkan dalam saluran pipa biogas tidak boleh melebihi 2% hal ini untuk mengurangi korosi dan untuk meningkatkan kadar CH₄ sehingga nilai kalor yang dihasilkan juga cukup besar.

2.2.3 Pelepah Nipah

Nipah (*Nypa fruticans*) merupakan tumbuhan yang termasuk *family Palmae*. Nipah tumbuh subur di hutan daerah pasang surut dan daerah rawa atau sungai yang berair payau. Di Indonesia luas tanaman nipah adalah 700.000 Ha atau 10% dari luas lahan daerah pasang surut yang mencapai 7 juta Ha dengan penyebarannya meliputi wilayah Sumatera, Kalimantan, Jawa, Maluku dan Irian Jaya (Hasaruddin, 2021). Organisasi Pangan Dunia seperti yang dikutip pada tulisan Tamunaidu dan Saka, pada tahun 1998 menyatakan tanaman nipah sebagai tanaman yang belum dimanfaatkan dan tidak mengancam ekosistem. Pelepah nipah memiliki kandungan yang tinggi pada selulosa sebesar 35,1%, hemiselulosa 26,4%, dan lignin 19,7% (Evila *et al.*, 2022).

Nipah adalah salah satu tumbuhan jenis monokotil yang tumbuh secara alami. Tumbuhan nipah memiliki bagian-bagian yaitu pelepah nipah berbentuk rimpang, berakar serabut yang panjangnya sekitar 13 m, panjang daunnya 100 cm dan lebarnya sekitar 4-7 cm. Jumlah daun dalam setiap tandan yaitu mencapai 25-100 helai, jika daun yang sudah tua berwarna agak kuning dan daun yang masih muda berwarna hijau (Megawati, 2017).



Gambar 2. 1 Pelepah Nipah (Sumber: Peneliti)

Tanaman nipah (*Nypa fruticans*) dapat diklasifikasikan berdasarkan taksonomi tumbuhan, sebagai berikut:

Tabel 2. 2 Klasifikasi Nipah

Kingdom	Plantae
Divisi	<i>Magnoliophyta</i>
Kelas	<i>Liliopsida</i>
Ordo	<i>Arcales</i>
Family	<i>Areaceae</i>
Genus	<i>Nypa</i>
Spesies	<i>Nypa fruticans</i>

(Sumber: Megawati, 2017)

2.2.4 Asam Fosfat (H_3PO_4)

Asam fosfat (H_3PO_4) adalah mineral anorganik yang dapat digunakan sebagai bahan pengaktif yaitu proses pemutusan rantai karbon dari senyawa organik dengan penambahan bahan-bahan kimia dimana bahan kimia yang lain dapat digunakan sebagai pengaktif adalah HNO_3 , $CaCl_2$, $Ca(OH)_2$, $CaCl_2$, $Ca_3(PO_4)_2$, $NaOH$, $Na_2(SO)_4$, SO_2 , $ZnCl_2$, Na_2CO_3 , sianida dan uap air pada suhu tinggi. Selain itu sifat-sifat dari bahan yang diaktivasi secara kimia dipengaruhi oleh jenis bahan pengaktif yang digunakan dan jumlah bahan aktif yang ditambahkan (Kurniawan *et al.*, 2014). Aktivasi secara kimiawi dalam pembuatan karbon aktif dengan menggunakan H_3PO_4 sering digunakan karena dapat menghasilkan karbon aktif yang memiliki permukaan yang luas untuk menyerap dan pori yang besar (Esterlita

& Herlina, 2015). H_3PO_4 memiliki sifat higroskopis yaitu terikatnya molekul air oleh aktivator akan meningkatkan kemampuan adsorpsi dari karbon aktif (Lestari *et al.*, 2016). Berikut sifat fisik dan kimia asam fosfat yaitu:

Tabel 2. 3 Tabel Sifat Fisik dan Kimia H_3PO_4

No.	Parameter	Sifat Fisik dan Kimia
1.	Rumus kimia	H_3PO_4
2.	Massa molar	98,00 gr/mol
3.	Penampilan	Padatan putih/cairan kental (>42°C)
4.	Density	1,885 gr/mL (cairan) 1,685 gr/mL (85% larutan) 2,030 gr/mL (kristal padat) 1,685 gr/mL (85% larutan) 2,030 gr/mL (kristal padat)
5.	Titik didih	158°C
6.	Titik lebur	42,35°C (<i>anhidrat</i>) 29,35°C (<i>hemyhidrate</i>)
7.	Kelarutan dalam air	548 gr/100 mL
8.	Keasaman	2,148
9.	Viskositas	2,4 – 9,4 cP

(Sumber : Legiso *et al.*, 2019)

2.2.5 Adsorben

Adsorben adalah zat padat yang dapat menyerap komponen tertentu dari suatu fase fluida. Kebanyakan adsorben adalah bahan-bahan yang sangat berpori dan adsorpsi berlangsung terutama pada dinding-dinding pori atau pada letak-letak tertentu didalam patrikel itu. Oleh karena pori-pori biasanya sangat kecil maka luas permukaan dalam menjadi beberapa orde besaran lebih besar daripada permukaan luar dan bisa mencapai 2000 m²/g. Adsorben yang digunakan secara komersial dikelompokkan menjadi dua yaitu kelompok polar dan non polar (Rahmayani & Siswarni, 2013).

1. Adsorben polar adalah adsorben *hydrophilic*, adsorben ini dapat menyerap air. Contoh adsorben polar yaitu silica gel.
2. Adsorben non polar adalah adsorben *hydrophobic*, adsorben ini dapat menyerap adsorbat selain air. Contoh adsorben non polar yaitu karbon aktif (Fardiansyah, 2017). Menurut IUPAC (*International Union of Pure and Applied Chemical*) ada beberapa klasifikasi pori yaitu:
 - a. Mikropori : diameter < 2 nm
 - b. Mesopore : diameter 2 – 50 nm
 - c. Makropori : diameter > 50 nm.

2.2.6 Adsorpsi

Adsorpsi merupakan proses yang terjadi ketika gas atau cairan terlarut terakumulasi pada permukaan suatu padatan atau cairan dan membentuk lapisan molekul atau atom (Purwata & Tamjidillah, 2019). Zat yang terakumulasi pada permukaan disebut adsorbat, sedangkan material permukaan padatan atau cairan disebut adsorben. Proses adsorpsi pada suatu adsorben terutama terjadi pada pori-pori kecilnya (*micropore*). Daya serap adsorben terhadap gas bergantung pada tekanan, karakteristik adsorben, dan temperatur. Karakteristik adsorben bergantung pada daya serap gas dimana semakin besar permukaan pori suatu adsorben maka semakin baik daya adsorpsi suatu penyerapan (Fahruzi, 2019).

Adapun jenis adsorpsi berdasarkan interaksi molekular antara permukaan adsorben dengan adsorbat (Asip & Okta, 2013), yaitu sebagai berikut:

1. Adsorpsi fisika (*Physisorption*)

Adsorpsi fisika adalah adsorpsi yang terjadi karena adanya gaya *Van der Waals*, dimana gaya tarik menarik molekul antara larutan dan permukaan media lebih besar daripada gaya tarik substansi terlarut dan larutan, maka substansi terlarut akan teradsorpsi oleh permukaan media. Adsorpsi fisika ini memiliki gaya tarik *Van der Waals* yang kekuatannya relatif kecil. Contohnya yaitu adsorpsi oleh zeolite, silica gel, dan karbon aktif. Aktivasi karbon aktif pada temperatur yang tinggi akan menghasilkan struktur berpori dan luas permukaan adsorpsi yang besar. Semakin besar luas permukaan, maka semakin banyak substansi terlarut yang melekat pada permukaan media adsorpsi.

2. Adsorpsi Kimia (*Chemisorption*)

Adsorpsi kimia terjadi ketika terbentuknya ikatan kimia antara substansi terlarut dalam larutan dengan molekul dalam media. Contohnya yaitu *metal hydride*, *calcium sholide*, dan *ion exchange*.

Faktor-faktor yang mempengaruhi proses adsorpsi (Iriani *et al.*, 2016) adalah sebagai berikut:

- a. Jenis adsorbat yaitu ukuran molekul adsorbat, kepolaran zat, konsentrasi adsorbat, tekanan adsorbat dan temperature absolut.
- b. Karakteristik adsorben yaitu kemurnian adsorben, luas permukaan, volume pori adsorben, pH larutan, waktu kontak, dan jumlah *stage*.

2.2.7 Karbon

Karbon atau zat arang adalah unsur kimia yang mempunyai simbol C dan nomor atom 6 pada tabel periodik, sebagai unsur golongan 14. Karbon merupakan unsur non-logam dan bervalensi 4 (tetravalen), yang berarti bahwa terdapat 4 elektron yang dapat digunakan untuk membentuk ikatan kovalen (Rahmawati, 2020). Karbon adalah zat yang ada semenjak proses terbentuknya bumi. Karbon terdapat pada semua benda mati dan makhluk hidup. Karbon dapat ditemukan dalam biomassa pohon (bagian atas yang meliputi batang, cabang, ranting, daun, bunga dan buah, serta bagian bawah yang meliputi akar), bahan organik mati (nekromassa), serasah, tanah, dan yang tersimpan dalam bentuk produk kayu (Rahmawati, 2020).

2.2.8 Karbon Aktif

Karbon aktif merupakan suatu bahan yang mengandung karbon *amorf* yang memiliki permukaan dalam (*internal surface*) dengan luas permukaan 300-2000 m²/gr. Luas permukaan yang sangat luas dikarenakan mempunyai struktur pori-pori. Pori-pori ini yang menyebabkan karbon aktif memiliki daya serap tinggi dan dapat bekerja sebagai adsorben (Ambarita, 2020). Karbon aktif dapat mengadsorpsi gas dan senyawa-senyawa kimia tertentu, tergantung pada besar atau volume pori-pori dan luas permukaan. Daya serap karbon aktif sangat besar, yaitu 25-100% terhadap berat karbon aktif (Ramadani, 2021).

Karbon aktif yang memiliki struktur mikro dan mesopori yang besar serta luas permukaan yang tinggi merupakan karbon aktif yang memiliki daya serap yang tinggi pada larutan iodin. Untuk memperoleh karbon aktif yang memiliki daya serap yang tinggi maka diberikan aktivator dalam proses pembuatannya (Fanani, N dan Ulfindrayani, 2019). Pembuatan karbon aktif melalui tiga tahap yaitu dehidrasi, karbonisasi, dan aktivasi (Rohmah & Redjeki, 2014).

- a. Dehidrasi, bahan dipanaskan sampai kurang lebih 170°C atau dijemur diterik matahari sampai beberapa lama untuk menghilangkan airnya.
- b. Karbonisasi, berfungsi untuk mengubah bahan-bahan organik menjadi komponen karbon, bahan tersebut dipanaskan lagi sampai diatas 170°C untuk mengeluarkan gas-gas CO_2 , CO , dan uap asam asetat.
- c. Aktivasi, proses memperbesar luas permukaan dalam karbon hasil karbonisasi.

Karbon aktif dapat dibagi menjadi dua jenis berdasarkan fungsinya (Ramadhani *et al.*, 2020) yaitu:

- a. Karbon aktif sebagai pemucat

Karbon aktif sebagai pemucat berfungsi untuk memindahkan zat-zat pengganggu yang tidak diinginkan, misalnya yang menghilangkan warna dan bau yang tidak diharapkan serta dapat membebaskan pelarut dari zat-zat pengganggu. Karbon aktif ini berbentuk bubuk yang sangat halus dengan diameter pori-pori lebih besar biasanya dibuat dari serbuk gergaji, ampas kertas, atau dari bahan yang mempunyai densitas kecil dan mempunyai struktur lemah. Karbon aktif jenis ini biasanya digunakan di industri kimia dan industri baju.

- b. Karbon aktif sebagai penyerap

Karbon aktif yang digunakan sebagai penyerap uap difungsikan untuk memperoleh kembali pelarut atau katalis yang dipakai dalam pemurnian gas. Karbon aktif ini berbentuk granular atau pellet biasanya digunakan sebagai penyerap karena mempunyai sifat fisik yang keras dengan diameter pori lebih kecil. Karbon aktif jenis ini dibuat dari tempurung kelapa, batu bata, atau bahan baku yang sifatnya keras.

2.2.9 Metode Aktivasi

Aktivasi adalah metode yang dilakukan untuk memperoleh luas adsorben yang lebih luas (Kurniawan *et al.*, 2014). Proses pengubahan karbon dari daya serap rendah menjadi karbon yang mempunyai daya serap tinggi. Aktivasi dapat dibedakan menjadi dua yaitu aktivasi secara fisika dan aktivasi secara kimia. Aktivasi secara fisika yaitu pemutusan rantai karbon dari senyawa organik dengan bantuan panas, uap dan CO₂. Aktivasi ini bertujuan untuk mempertinggi volume, memperluas diameter pori yang terbentuk selama karbonisasi dan dapat menimbulkan pori baru. Sedangkan aktivasi secara kimia adalah pengaktifan dengan pemakaian bahan kimia. Aktivasi kimia memiliki keunggulan diantaranya hanya memerlukan temperatur rendah, menghasilkan hasil yang lebih tinggi dan mikropori yang dapat dikontrol (Ramadani, 2021). Untuk menaikkan luas permukaan dan memperoleh karbon yang berpori, karbon diaktivasi menggunakan uap panas, gas karbondioksida dengan suhu antara 700-1100°C, atau penambahan bahan-bahan mineral sebagai aktivator (Dewi *et al.*, 2021).

2.2.10 Metode Impregnasi

Berbagai metode modifikasi untuk mengembangkan luas permukaan karbon aktif salah satunya yaitu metode impregnasi. Metode impregnasi adalah suatu proses penjenahan suatu zat tertentu secara total. Tujuan dari metode impregnasi yaitu mengisi pori-pori karbon aktif dengan komponen aktif seperti asam melalui proses perendaman dengan larutan penyangga. Larutan penyangga berfungsi sebagai penyangga permukaan yang luas agar lebih mudah menebarkan zat kimia aktif sehingga permukaan kontak pada sampel lebih luas dan efisien (Pratama, 2019). Langkah selanjutnya yaitu adalah proses pengeringan dan pemanasan pada suhu tinggi sehingga terjadi dekomposisi prekursor menjadi zat kimia aktif.

2.2.11 Pirolisis

Pirolisis merupakan proses karbonisasi dengan pemanasan secara langsung dalam tungku *Beehive* yang berbentuk kubah. Secara umum pirolisis adalah proses penguraian suatu bahan baku pada suhu yang relatif tinggi dengan udara terbatas atau tanpa adanya oksigen. Proses penguraian pada pirolisis ini biasa

juga sering disebut dengan proses *devolatilisasi* (Ramadhani *et al.*, 2020). Proses pirolisis dilakukan pada suhu 350°C-400°C dalam suatu reaktor dan diikuti dengan kondensasi dalam kondensator berpendingin air, sehingga dihasilkan asap cair. Produk akhir proses pirolisis akan menghasilkan tiga senyawa yaitu gas, padat dan cair, yaitu karbon, cairan berupa campuran. Pada umumnya proses pirolisis berjalan pada kurun waktu 4-7 jam dengan suhu diatas 300°C, tetapi kondisi tersebut dipengaruhi oleh sifat fisik bahan baku (Ramadhani *et al.*, 2020).

Berdasarkan jenisnya pirolisis dibagi menjadi dua yaitu pirolisis primer dan pirolisis kimia. Pirolisis kimia adalah pirolisis yang terjadi pada bahan baku dan berlangsung pada suhu < 600°C, hasil penguraian yang utama adalah karbon. Pirolisis primer dibedakan menjadi pirolisis primer lambat dan pirolisis primer cepat. Pirolisis primer lambat terjadi pada proses pembuatan arang. Pada laju pemansan lambat (suhu 150°C-300°C) reaksi utama yang terjadi adalah dehidrasi (kehilangan kandungan air), dan hasil reaksi keseluruhan adalah karbon padatan (C = arang), air (H₂O), karbon monoksida (CO) dan karbon dioksida (CO₂). Sedangkan pirolisis primer cepat terjadi pada suhu lebih dari 300°C dan akan menghasilkan gas, karbon padatan (arang) dan uap. Sedangkan pirolisis fisika adalah pirolisis yang terjadi atas partikel dan gas atau uap hasil pirolisis primer dan berlangsung diatas 600°C. Hasil pirolisis pada suhu ini adalah karbon monoksida (CO), hidrogen (H₂), dan hidrokarbon, sedangkan jumlah tar yang dihasilkan sekitar 1-6 % (Pratama, 2019).

Adapun faktor yang mempengaruhi hasil pirolisis (Ramadhani *et al.*, 2020) yaitu:

- a. Waktu pirolisis ini sangat tergantung pada jenis dan jumlah bahan baku. Semakin lama waktu reaksi maka semakin meningkat hasil akhir fase cair dan gas walaupun hasil fase padatan akan menurun.
- b. Suhu pirolisis, semakin meningkatnya suhu maka proses penguraian semakin baik.
- c. Ukuran bahan, ukuran ini sangat tergantung dari ukuran alat yang digunakan, hasil arang dan tujuan akhir pemakaian karbon aktif.

- d. Kadar air bahan, semakin banyak kandungan air maka akan semakin banyak timbul uap air didalam reaktor pirolisis sehingga waktu yang digunakan untuk pemanasan semakin lama dan menyebabkan tar sulit mengalami pengembunan didalam pendingin.

2.2.12 Karakteristik Karbon Aktif

Parameter yang digunakan untuk mengukur kualitas karbon aktif dapat dinilai berdasarkan persyaratan (SNI) 06–3730-1995 tentang syarat mutu dan pengujian arang aktif.

Tabel 2. 4 Standar Kualitas Karbon Aktif

Uraian	Persyaratan Kualitas
Kadar air (%)	Maks. 15
Kadar abu (%)	Maks. 10
Bagian yang tidak terarang	Tidak ternyata
Daya serap terhadap iodin (mg/g)	Min. 750
Bagian yang hilang pada pemanasan 950°C (%)	Maks. 25
Karbon aktif murni (%)	Min. 65
Daya serap terhadap biru metilena (mg/g)	Min. 120
Kerapatan jenis curah (g/mL)	0,30-0,35
Lolos ukuran mesh 325%	Min. 90

(Sumber : SNI, 1995)

2.2.13 Kadar Air

Penentuan kadar air pada karbon aktif digunakan untuk mengetahui sifat higroskopis dengan bertambahnya luas permukaan karbon aktif akan meningkatkan sifat higroskopis. Air dari udara akan diserap oleh karbon aktif itu sehingga menjadi meningkat, akibatnya kadar air pada karbon aktif juga meningkat. Metode yang digunakan pada penentuan kadar air dari karbon aktif adalah metode gravimetri yaitu analisis kimia berdasarkan perbedaan bobot karbon sebelum kandungan airnya diuapkan dan setelah dilakukuan penguapan (Legiso *et al.*, 2019).

2.2.13 Kadar Abu

Kadar abu adalah banyaknya kandungan oksida logam yang terdiri dari mineral-mineral dalam suatu bahan yang tidak dapat menguap pada proses

pengabuan (Laos & Selan, 2016). Kadar abu karbon aktif semakin rendah karena faktor dari ukuran mesh yang semakin kecil dan konsentrasi yang semakin besar dapat mengalami penurunan pada kadar abu karbon aktif. Penurunan tersebut disebabkan adanya aktivator asam yang dapat melarutkan oksida-oksida logam. Karbon aktif terdiri dari lapisan-lapisan bertumpuk satu sama lain yang membentuk pori, dimana pada pori-pori karbon biasanya terdapat pengotor berupa mineral anorganik dan oksida logam yang menutupi pori. Selama proses aktivasi, pengotor tersebut larut dalam aktivator sehingga menyebabkan luas permukaan pori-pori semakin besar (Lestari *et al.*, 2016).

2.2.14 Daya Serap Iodin

Daya adsorpsi karbon aktif terhadap iod memiliki hubungan dengan luas permukaan dari karbon aktif. Semakin besar angka iod maka semakin besar kemampuannya dalam mengadsorpsi adsorbat. Luas area permukaan pori merupakan parameter yang sangat penting dalam menentukan kualitas suatu karbon aktif. Hal ini disebabkan karena luas area permukaan pori adalah salah satu faktor yang mempengaruhi daya adsorpsi dari suatu adsorben (Laos & Selan, 2016).

2.2.15 Daya Serap Metilen Blue

Penentuan daya serap terhadap *metilen blue* dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui kemampuan adsorpsi karbon aktif yang dihasilkan terhadap larutan berwarna. Oleh sebab itu penting dilakukan uji daya serap dengan larutan *methylene blue* sehingga dapat mengetahui apakah karbon aktif yang dibuat dapat menyerap zat warna. Pengujian uji daya serap *metilen blue* menggunakan alat spektometri UV Vis melalui panjang gelombang sehingga dapat diketahui nilai absorbansinya (Meilianti, 2017). Penentuan ini juga dapat digunakan untuk mengetahui luas permukaan yang dimiliki oleh adsorben. Daya serap yang semakin besar menunjukkan bahwa luas permukaan karbon aktif juga semakin besar. Daya serap *metilen blue* sebanding dengan luas permukaan adsorben (Rahmadani & Kurniawati, 2017).

2.2.16 Uji FTIR

Pengujian FTIR atau *Fourier Transform Infrared* bertujuan untuk mengetahui gugus-gugus fungsi dari bahan yang diamati dimana gugus fungsi

tersebut digunakan untuk menduga sifat permukaan karbon aktif. (Rahmadani & Kurniawati, 2017). Spektrofotometri Infra Merah merupakan suatu metode yang mengamati interaksi molekul dengan radiasi elektromagnetik yang berada pada daerah panjang gelombang 0,75-1000 μm atau pada bilangan gelombang 13000-10 cm^{-1} . Berdasarkan pembagian daerah panjang gelombang, sinar infra merah dibagi atas tiga daerah, yaitu daerah infra merah dekat, daerah infra merah pertengahan, dan daerah infra merah jauh. Setiap gugus fungsi (ikatan) didalam suatu molekul mempunyai tingkatan energi vibrasi dan rotasi yang berbeda. Oleh karena itu, gugus fungsi ditentukan dari nilai bilangan gelombang yang terserap oleh ikatan tersebut. Nilai bilangan gelombang yang terserap ditentukan dari puncak yang mengidentifikasi adanya % Transmittan yang bernilai kecil (Absorbansi bernilai cukup besar) (Raharja & Cahyani, 2013). Adapun daftar bilangan gelombang dari berbagai jenis ikatan dapat dilihat pada tabel 2.5.

Tabel 2. 5 Daftar bilangan gelombang dari berbagai jenis ikatan

Daerah Serapan (cm^{-1})	Gugus Fungsi	Nama Gugus Fungsi
2850-2960	C-H	Alkana
3020-3080	C=C	Alkena
675-870	C-H	Aromatik
3300	C \equiv C	Alkuna
1640-1680	C=C	Alkena aromatik
1500-1600	C=O	Aldehida keton asam karbosilatester
1080-1300	C-O	Aldehida keton asam karbosilatester
1690-1760	C=O	Karbonil
2000-3600	O-H	Alkohol fenol (monomer)
3310-3500	O-H	Alkohol fenol (ikatan hidrogen)

(sumber: Raharja & Cahyani, 2013)

1.2.17 Uji BET

Luas area permukaan pori merupakan suatu parameter yang sangat penting dalam menentukan kualitas dari suatu karbon aktif sebagai adsorben. Hal ini disebabkan karena luas area permukaan pori merupakan salah satu faktor yang mempengaruhi daya adsorpsi dari suatu adsorben (Maulinda *et al.*, 2017). BET

(*Brunauer Emmet Teller*) dapat digunakan setelah dilakukan uji menggunakan alat SAA (Surface Area Analyzer). Alat ini berfungsi untuk menentukan diameter dan volume pori, serta luas permukaan spesifik material (Kusumaningtyas, 2017). Karbon aktif dengan luas permukaan yang tinggi merupakan adsorben yang potensial untuk penggunaannya pada proses adsorpsi. Sebelum dianalisis sampel karbon *di-degassing* terlebih dahulu untuk menghilangkan kontaminasi gas pada mikropori karbon aktif (Alhamidi *et al.*, 2019).

2.3 Hipotesis

Beberapa dugaan sementara yang dapat diambil dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Variasi konsentrasi H_3PO_4 akan mempengaruhi karakteristik karbon aktif dari pelepah nipah.
2. Variasi ukuran partikel akan mempengaruhi karakteristik karbon aktif dari pelepah nipah.
3. Variasi laju alir akan mempengaruhi efektivitas penjerapan CO_2