

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Terdahulu

Penelitian Lestari *et al.* (2021) menggunakan cangkang kelapa sawit untuk membuat sintesis karbon aktif magnetit-Fe₃O₄ sebagai penjerap zat warna *Remazol Yellow* dengan metode kopresipitasi. Karbon aktif dibuat dengan cara mencampurkan karbon aktif 6,5 gram dengan 400 mL larutan garam besi yang terdiri atas 7,8 gram (28 mmol) FeCl₃.6H₂O dan 3,9 gram (14 mmol) FeCl₃.7H₂O ditambah ke dalam campuran tersebut pada suhu 70°C. Campuran diaduk dalam 30 menit, kemudian ditambahkan 100 ml NaOH 5M tetes demi tetes sehingga diperoleh komposit endapan berwarna hitam dengan nisbah bobot 1:2. Adsorben dilakukan untuk penjerapan zat warna *Remazol Yellow* dengan mempelajari parameter penjerapan yaitu Derajat Keasaman (pH), Waktu Kontak, dan konsentrasi larutan *Remazol Yellow*. Derajat Keasaman / pH dalam penjerapan zat warna diperoleh pada kondisi H-2 dengan efisiensi penjerapan 71,79% dan konsentrasi optimum pada konsentrasi 45 mg/L.

Penelitian Ramadiani & Munasir (2021) menggunakan kertas, serbuk gergaji kayu karet. Fabrikasi material Karbon Aktif/Fe₃O₄ yang diaplikasikan sebagai adsorben zat warna dan logam berat (Cu dan Cd) dalam air. Selanjutnya dilakukan uji untuk menguji kemampuan adsorpsi karbon aktif yang berasal dari berbagai bahan berbeda sebagai adsorben logam berat dan zat warna. Hasil uji menunjukkan kemampuan adsorpsi komposit Fe₃O₄ dari limbah kertas selama 5 jam dapat menjerap zat warna sekitar 30% untuk fenol dan metil jingga 96,3%. Sedangkan pada karbon aktif serbuk gergaji kayu karet ditambah nanomagnetik Fe₃O₄ untuk menjerap limbah logam berat Cu sebesar 0,2592 ppm (98,30%), logam Cd sebesar 4,5189 ppm (18,49%) dan logam Pb sebesar 1,1635 ppm (98,63%). Kemampuan adsorpsi ion besi (III) KAM memiliki kuantitas maksimum sebesar 163,0 mg/g dengan kecepatan maksimum 78,3%.

Penelitian Robbika (2022) menggunakan limbah ampas tebu yang mana pada proses adsorpsi dilakukan dengan membuat larutan kromium 100 ppm dalam 500 ml. Proses adsorpsi dilakukan dengan menimbang karbon aktif sebanyak 0,05 gram (setiap variabel) kemudian direndam dalam larutan kromium 100 ppm selama 24 jam. Pada proses ini dilihat pengaruh karbon aktif terhadap pengurangan kadar logam berat pada larutan kromium. Proses adsorpsi dilakukan secara *batch* pada suhu kamar.

Penelitian Silitonga *et al.* (2023) menggunakan Limbah padat kelapa sawit. Pelepah kelapa sawit dibelah dan dihancurkan hingga menjadi bubuk. Kemudian dihaluskan dan dikeringkan menggunakan oven pada suhu 101°C. Setelah itu, saring pada saringan 80 *mesh*. Cangkang sawit kemudian dicuci bersih dan direndam menggunakan etanol 70% selama 12 jam. Setelah itu, dikeringkan menggunakan oven dengan suhu 105°C. Cangkang yang telah kering dihancurkan dan diayak menggunakan saringan 200 *mesh*. Kemudian dimasukkan ke dalam tanur dan dipanaskan selama 30 menit pada suhu 600°C. Cangkang tersebut kemudian diambil dari tanur dan dimasukkan ke dalam *autoclave hidrothermal* dengan 5 g C-600. Kemudian ditambahkan aquades sebanyak 50 mL. Setelah itu, *autoclave* ditutup dan dimasukkan ke dalam oven selama dua jam pada suhu 180°C. Kemudian dikeluarkan dan didinginkan pada suhu kamar. Lalu, dimasukkan ke dalam botol kaca dan dilakukan ultrasonikasi selama 15 menit. Kemudian, larutan dimasukkan ke dalam *sentrifuge* untuk menghasilkan endapan nano karbon. Kemudian endapan tersebut dikeringkan selama 12 jam menggunakan oven pada suhu 105°C.

Penelitian Putri (2019) menggunakan arang aktif. Larutan nanopartikel perak 0,3672 g/L sebanyak 250 mL. Ditambahkan dengan arang aktif sebanyak 7,35 g di dalam beaker 1000 mL. Kemudian diaduk menggunakan *magnetic stirrer* selama 12 jam. Hasil yang diperoleh adalah endapan nanopartikel perak didalam bubuk. Campuran kemudian disaring dan dicuci bersih menggunakan aqua demin. Campuran dikeringkan pada suhu 110°C selama 12 jam. Campuran kemudian digerus untuk menghomogenkan. Produk disimpan dalam suhu ruang sehingga dapat bertahan selama kurang lebih 1 malam.

Penelitian Hidayah *et al.* (2022) menggunakan ampas kopi yang disintesis dengan Fe_3O_4 sebagai adsorben *Methylene Blue*. Variasi yang digunakan berupa variasi lama waktu kontak, pH optimum, variasi konsentrasi. Hasil penelitian menunjukkan waktu kontak optimum terhadap adsorpsi zat warna *Metylen Blue* pada waktu ke 25 menit dengan kapasitas adsorpsi sebesar 98,58% dan pH optimum pada pH 8 dengan kapasitas adsorpsi 99,15%.

Penelitian Machdar *et al.* (2021) menggunakan Karbon Aktif *High Grade* dengan Fe_3O_4 dan diaplikasikan pada penjerapan zat warna *Indigosol* (Merah) dengan konsentrasi 200 rpm pada pengadukan selama 30 menit. Setiap 5 menit diambil 5 mL dan diperiksa adsorbansinya dengan menggunakan Spektro UV-Vis. Pada penjerapan zat warna limbah batik asli dilakukan dengan cara dilakukan pengenceran limbah batik. Kemudian uji penjerapan dilakukan dengan massa KAM sebesar 1,5 gram dengan konsentrasi awal zat warna sebesar 397,5 ppm.

Penelitian Utomo *et al.* (2019) menggunakan karbon aktif ampas tebu yang diaktivasi dengan H_2SO_4 pada variasi konsentrasi 0,5 M; 1,0M; 1,5M; dan 2,0 M yang menunjukkan proses aktivasi berhasil memperluas permukaan karbon dari semula 31,87 m^2/g sebelum aktivasi menjadi 66-72 m^2/g , namun adsorpsi terbaik ditunjukkan oleh karbon aktif dengan konsentrasi sebesar 0,5 M dengan kapasitas adsorpsi 83,93%. Uji adsorpsi terbaik sebanyak 0,2 gram dengan waktu kontak 30 meit dengan kapasitas adsorpsi 95,81%. Pada palikasi penjerapaan zat warna limbah batik asli dilakukan secara kualitatif dengan melihat perbedaan warna pada limbah sebelum dan sesudah adsoprsi secara visual. Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa penurunan limbah batik meningkat pada jumlah adsorben 2,3 gram yang ditandai dengan memudarnya warna pada limbah batik asli yang semula berwarna sangat pekat berubah menjadi kuning bening.

Penelitian Suryani & Destiarti (2024) menggunakan karbon aktif tempurung kelapa yang diaktivasi menggunakan soda kue. KAM yang dibuat dengan variasi massa karbon aktif : oksida besi (KA:OB) sebanyak 1:1, 2:1 dan 3:2 serta aplikasinya dalam mengadsorpsi ion Pb (II). KAM yang dibuat dengan

metode *kopresipitasi refluks* menghasilkan analisis gugus fungsi yang menunjukkan puncak khas Fe-O pada bilangan gelombang 546,54 cm^{-1} (KAM 1:1), 406,38 cm^{-1} (KAM 2:1) dan 406,78 cm^{-1} (KAM 3:2). Dan menghasilkan adsorpsi ion Pb (II) oleh KAM 2:1 memberikan efektivitas adsorpsi 98,444%.

Penelitian Sutisna *et al.* (2023) menggunakan KA dari tempurung kelapa yang diaktivasi dengan H_2SO_4 . Variasi KA yang dikompositkan dengan TiO_2 digunakan massa KA sebanyak 5 g, 10 g, 15 g, 20 g. Kemudian campuran dimasukkan ke dalam *autoclave* selama 12 jam pada suhu 180°C untuk proses hidrotermal. komposit TiO_2 -KA mampu mendegradasi zat warna metilen biru dengan aktivitas fotokatalitik lebih tinggi dibandingkan dengan TiO_2 atau KA secara individual. Dari seluruh sampel uji, Komposit TiO_2 -KA/10 menunjukkan aktivitas fotokatalitik paling tinggi dibandingkan sampel lainnya, dalam waktu 60 menit radiasi UV mampu mendegradasi 95,4% senyawa metilen biru. Analisis morfologi material TiO_2 -KA dengan menggunakan SEM menunjukkan bahwa, dengan menggunakan metode hidrotermal satu langkah, partikel-partikel TiO_2 dapat menempel dipermukaan KA. Hal ini juga diperkuat dengan hasil analisis EDX dan FTIR yang menunjukkan adanya komposisi unsur dan gugus Ti pada material yang disintesis.

Tabel 2.1 Ringkasan Penelitian Terdahulu

No	Nama Belakang Peneliti (Tahun)	Tujuan	Hasil	Perbedaan
1.	Suryani & Destiarti (2024)	Mengetahui karakteristik Karbon Aktif (KA) dan Karbon Aktif Magnet (KAM) yang dibuat dengan variasi massa Karbon Aktif:Oksida Besi	Analisis FTIR KAM menunjukkan puncak khas Fe-O pada bilangan gelombang 546,54 cm^{-1} (KAM 1:1), 406,38 cm^{-1} (KAM 2:1) dan 406,78 cm^{-1} (KAM 3:2). Adsorpsi ion Pb (II) oleh KAM (2:1) memberikan efektivitas	Bahan Karbon Aktif dari sekam padi Aplikasi pada zat warna <i>Napthol Yellow</i>

No	Nama Belakang Peneliti (Tahun)	Tujuan	Hasil	Perbedaan
		(KA:OB) 1:1, 1:2 dan 1:3 serta uji kinerjanya dalam mengadsorpsi ion Pb (II).	adsorpsi 98,444% mengikuti model isotherm Jovanovich.	
2.	Sutisna <i>et al.</i> (2023)	Untuk menghasilkan material komposit TiO ₂ -KA yang memiliki aktivitas fotokatalitik yang lebih tinggi dari material TiO ₂ , dengan metode sederhana	Dari seluruh sampel uji, Komposit TiO ₂ -KA/10 menunjukkan aktivitas fotokatalitik paling tinggi dibandingkan sampel lainnya, dalam waktu 60 menit iradiasi UV mampu mendegradasi 95,4% senyawa metilen biru. Analisis morfologi material TiO ₂ -KA dengan menggunakan SEM menunjukkan bahwa dengan menggunakan metode hidrotermal satu langkah, partikel-partikel TiO ₂ dapat menempel dipermukaan KA	Bahan baku KA dari sekam padi Bahan komposit Fe ₃ O ₄ Penjerapan zat warna <i>Napthol Yellow</i>

No	Nama Belakang Peneliti (Tahun)	Tujuan	Hasil	Perbedaan
3.	Silitonga <i>et al.</i> (2023)	Memanfaatkan limbah padat kelapa sawit menjadi material yang memiliki nilai guna dan nilai ekonomis menjadi nanokarbon serta material berteknologi tinggi. Nano karbon yang berasal dari pelepah dan cangkang sawit dibuat melalui metode hidrotermal.	Analisa gugus fungsi menggunakan FTIR telah menunjukkan gugus fungsi nano karbon dan ditemukan perubahan ukuran partikel yang sangat signifikan dari proses sebelum dan sesudah hidrotermal yaitu 895,22 nm menjadi 334,2 nm. Peningkatan volume pori dan luas permukaan partikel masing-masing sebesar 3,5% dan 63% setelah proses hidrotermal.	Karbon aktif berbahan dasar sekam padi
4.	Robbika (2022)	Membuat karbon aktif dari ampas tebu dengan aktivasi KOH dan mengamati apakah adsorben arang aktif ampas tebu dengan aktivasi KOH	Karbon aktif dari ampas tebu dapat menyerap kromium pada limbah. Konsentrasi KOH yang menghasilkan karbon aktif paling baik yaitu KOH 15% Dari analisis FTIR didapatkan bahwa hasil analisa karbon	Menggunakan zat warna <i>Napthol Yellow</i> Karbon aktif berbahan dasar sekam padi

No	Nama Belakang Peneliti (Tahun)	Tujuan	Hasil	Perbedaan
		<p>dapat mengurangi kadar logam berat pada limbah cair porses penyamakan kulit serta mengamati apakah adsorben arang aktif ampas tebu dengan aktivasi KOH dapat menjerap zat warna limbah cair proses penyamakan kulit</p>	<p>aktif terlihat identik, hasil analisa FTIR karbon dan karbon aktif tidak terlihat di puncak pada bilangan gelombang 3400-3500 cm^{-1}; 2800-2900 cm^{-1}; dan hal ini menunjukkan bahwa telah terjadi degradasi ikatan O-H dan ikatan C-H</p>	
5.	Hidayah <i>et al.</i> (2022)	<p>Untuk menentukan waktu kontak optimum dan kapasitas adsorpsi maksimum serta untuk mengetahui jenis isotherm adsorpsi pada adsorpsi <i>Metylen Blue</i> dengan menggunakan komposit Fe_3O_4-ampas kopi</p>	<p>Hasil penelitian menunjukkan waktu kontak optimum terhadap adsorpsi zat warna <i>Metylen Blue</i> pada waktu ke 25 menit dengan kapasitas adsorpsi sebesar 98,58% dan pH optimum pada pH 8 dengan kapasitas adsorpsi 99,15%.</p>	<p>Bahan dasar karbon aktif adalah sekam padi Aplikasi zat warna <i>Napthol Yellow</i> Variasi massa adsorben Sintesis Karbon Aktif Magnet dengan Metode Hidrotermal</p>

No	Nama Belakang Peneliti (Tahun)	Tujuan	Hasil	Perbedaan
		<p>menggunakan metode kopresipitasi dengan rasio massa $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$: $(\text{NH}_4)_2\text{Fe}(\text{SO}_4) \cdot 6\text{H}_2\text{O}$: ampas kopi (2:2:7)</p>		
6.	Machdar <i>et al.</i> (2021)	<p>Untuk meningkatkan potensi dari Karbon Aktif komersial <i>High Grade</i> menjadi Karbon Aktif Magnet yang diharapkan dapat mempermudah proses pemisahan atau penjerapan zat <i>Warna Indigosol</i> (merah) dan limbah batik asli</p>	<p>Hasil penelitian menunjukkan efisiensi penjerapan pada Karbon Aktif Magnet lebih optimum dibandingkan dengan Karbon Aktif. Massa adsorben yang paling optimum dalam penjerapan zat warna berada pada massa 0,8 gram dengan lama waktu kontak selama 80 menit</p>	<p>Bahan dasar karbon aktif adalah sekam padi Penjerapan zat warna <i>Napthol Yellow</i></p>
7.	Lestari <i>et al.</i> (2021)	<p>Menggunakan adsorben karbon aktif berbahan</p>	<p>Adsorben karbon aktif magnetit Fe_3O_4 dapat digunakan untuk</p>	<p>Karbon aktif berbahan dasar sekam padi</p>

No	Nama Belakang Peneliti (Tahun)	Tujuan	Hasil	Perbedaan
		<p>dasar cangkang sawit dan dikompositkan dengan magnetit Fe_3O_4 sebagai adsorben zat warna <i>Remazol Yellow</i>. Parameter yang digunakan adalah pengaruh pH, Waktu Kontak, dan Konsentrasi Larutan Zat Warna <i>Remazol Yellow</i></p>	<p>penyerapan zat warna <i>Remazol Yellow</i>. Kondisi optimum penyerapan zat warna <i>Remazol Yellow</i> menggunakan karbon aktif magnet Fe_3O_4 adalah pH 2 dengan efisiensi penjerapan 84,61% waktu kontak 45 menit dengan efisiensi penjerapan 71,79% dan konsentrasi 45 mg/L dengan efisiensi penjerapan sebesar 80,82%</p>	<p>Aplikasi Zat Warna <i>Naphtol Yellow</i></p>
8.	Putri (2019)	<p>Sintesis karakterisasi arang aktif dan komposit arang aktif dengan nanopartikel perak. Arang aktif dikompositkan dengan nanopartikel perak untuk membuat adsorben baru.</p>	<p>Hasil karakterisasi dengan kadar air, kadar abu, daya adsorpsi iodium, daya adsorpsi terhadap <i>Metilen Biru</i> dan luas permukaan adalah 7,06%; 16,32%; 202,02% mg/g; dan 24,18 mg/g dan 89,74 m²/g. Nano partikel perak disintesis menggunakan metode</p>	<p>Karbon aktif berbahan dasar sekam padi yang dikompositkan dengan Fe_3O_4 Zat warna yang digunakan adalah <i>Naphtol Yellow</i></p>

No	Nama Belakang Peneliti (Tahun)	Tujuan	Hasil	Perbedaan
			<p>reduksi kimia dengan natrium sitrat sebagai zat pereduksi. Hasil karakterisasi komposisi nanopartikel perak arang aktif adalah 0,48%; 19,78%; 248,72 mg/g; 24,34 mg/g dan 90,35 m²/g untuk kadar air, kadar abu, daya serap terhadap iodium, daya adsorpsi terhadap <i>Metilen Biru</i> dan luas permukaan.</p>	
9.	Utomo <i>et al.</i> (2019)	<p>Untuk mendapatkan karbon aktif dari ampas tebu dengan kapasitas adsorpsi yang tinggi terhadap zat warna <i>Naphthol Yellow</i> serta mengetahui faktor-faktor yang mempengaruhi kapasitas adsorpsi tersebut.</p>	<p>Pengukuran luas permukaan karbon aktif dengan metilen biru menunjukkan bahwa proses aktivasi berhasil memperluas permukaan karbon aktif dari semula 31,87 m²/g sebelum aktivasi menjadi 66-72 m²/g setelah aktivasi. Namun adsorpsi terbaik ditunjukkan oleh karbon aktif H₂SO₄ 0,5 M dengan kapasitas</p>	<p>Bahan dasar karbon aktif magnet adalah sekam padi Metode yang digunakan adalah hidrotermal Sintesis karbon aktif magnet dengan Fe₃O₄</p>

No	Nama Belakang Peneliti (Tahun)	Tujuan	Hasil	Perbedaan
			<p>adsorpsi sebesar 83,93%. Uji adsorpsi menunjukkan bahwa jumlah adsorben terbaik adalah 0,2 gram dengan waktu kontak 30 menit. Pengujian pada limbah batik asli dilakukan secara kualitatif yang menunjukkan bahwa karbon aktif dapat menurunkan kadar zat warna dalam limbah cair yang ditandai dengan memudarnya warna limbah batik setelah adsorpsi</p>	
10.	Rahmadani & Kurniawati (2017)	<p>Fabrikasi material karbon aktif / Fe_3O_4 yang diaplikasikan sebagai adsorben zat warna dan logam berat (Cu dan Cd) dalam air. Kemudian dilakukan uji untuk menguji</p>	<p>Hasil menunjukkan kemampuan adsorpsi komposit Fe_3O_4/karbon yang dibuat dari berbagai bahan dasar karbon aktif yaitu dari limbah kertas selama dapat menjerap zat warna sekitar 30% untuk fenol dan metil jingga, 96,3% metilen</p>	<p>Bahan dasar karbon aktif dari Sekam Padi Menggunakan zat warna <i>Napthol Yellow</i></p>

No	Nama Belakang Peneliti (Tahun)	Tujuan	Hasil	Perbedaan
		kemampuan adsorpsi karbon aktif yang berasal dari berbagai bahan yang berbeda sebagai adsorben logam berat dan zat warna.	biru dan pada karbon aktif serbuk gergaji kayu karet ditambah nanomagnetik Fe ₃ O ₄ untuk menjerap limbah logam berat Cu sebesar 0,2592 ppm (98,30%), logam Cd sebesar 4,5189 ppm (18,49%) dan logam Pb sebesar 1,1635 ppm sebesar 163,0 mg/g dengan kecepatan maksimum 78,3%	

2.2 Teori-Teori yang Relevan

2.2.1 Sekam Padi

Sekam padi merupakan salah satu alternatif dalam pembuatan karbon aktif yang keberadaannya melimpah dan mudah ditemui karena berasal dari produk sampingan pada penggilingan padi. Selain itu, pada penggilingan padi dapat menghasilkan sekam padi yang cukup banyak yaitu sebesar 65% beras, 8% dedak, 2% bekatul, dan 20% sekam (Erbachan, 2019). Komponen utama dari sekam padi adalah selulosa 38% , hemiselulosa 18%, lignin 22% dan SiSO₂. Banyaknya kandungan karbon dan silika yang ada pada sekam padi merupakan karbon yang dihasilkan dari proses karbonisasi berupa komposit yang didalamnya terkandung karbon dan silika. Dalam preparasinya bahan karbon sekam padi adalah karbon *hidrochar* yang diproses melalui proses hidrotermal (Fajri, 2021).

Sekam padi merupakan suatu biomassa berupa kulit yang membungkus butiran beras yang akan menjadi limbah. Sekam ini biasanya menjadi bahan buangan pada proses penggilingan padi. Pemanfaatan yang biasanya dilakukan masih sangat terbatas yaitu dimanfaatkan sebagai bahan bakar produksi bata. Namun sekam padi memiliki potensi yang besar di dunia industri. Salah satu potensinya berupa pemanfaatan sekam sebagai sumber karbon. Karbon pada sekam padi ini kemudian dapat dimanfaatkan menjadi salah satu bahan penjerap atau adsorben dalam peranananya menjerap warna *Naphthol Yellow*.

2.2.2 Karbon Aktif Magnet (KAM)

Fe_3O_4 merupakan salah satu fase oksida besi yang memiliki sifat magnet terbesar di antara fase-fase lainnya. Karbon aktif yang dikompositkan dengan Fe_3O_4 dengan cara kopresipitasi untuk meningkatkan performa adsorben. Karbon aktif yang telah dikompositkan dengan Fe_3O_4 dapat merespon medan magnet luar dan akan memudahkan pada proses pemisahan antara adsorben dan adsorbat.

Karbon aktif magnet memiliki beberapa keunggulan dalam aplikasinya setelah proses adsorpsi, komposit magnetik dipisahkan dari medium larutan tanpa menggunakan proses penyaringan, tetapi menggunakan sistem magnet permanen. Dari hal tersebut maka akan menghemat biaya operasional maupun biaya perawatan komponen saringan yang sangat cepat jenuh dan rusak (Lestari *et al.*, 2021).

Komposit karbon aktif magnet adalah komposit atau gabungan dari karbon aktif dengan garam besi. Dengan menggabungkan nanopartikel magnet oksida besi dengan karbon aktif maka akan diperoleh suatu bahan komposit baru yang memiliki sifat adsorpsi dan dapat merespon medan magnet luar. Sifat yang terakhir digunakan untuk mengambil partikel adsorben dari cairan limbah yang telah menjerap kontaminan dengan menggunakan batangan magnet permanen. Sehingga pada proses penyaringan untuk mengambil kembali partikel karbon aktif dalam cairan dapat dihindari (Fisli *et al.*, 2015).

2.2.3 Hidrotermal

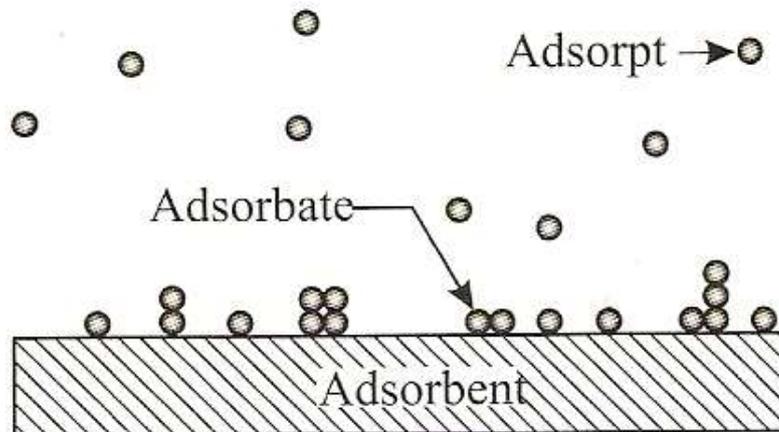
Berbagai metode dalam pembuatan karbon aktif yang terus berkembang serta memiliki berbagai keunggulan pada tiap metodenya. Berdasarkan keunggulan dan nilai aplikatif yang tinggi dari suatu karbon, maka banyak peneliti yang telah melakukan sintesis karbon dengan ukuran dan morfologi tertentu salah satunya adalah dengan metode hidrotermal (Sutisna *et al.*, 2023).

Metode hidrotermal berasal dari dua kata, yaitu *hydro* yang artinya air dan *termal* yang artinya panas. Metode ini melibatkan pemanasan reaktan dalam wadah tertutup (*Autoclave*) menggunakan air yang berfungsi untuk meningkatkan tekanan dan air tetap sebagai cairannya. Kondisi hidrotermal adalah suatu kondisi dimana tekanan meningkat di atas tekanan atmosfer (Ahdiaty, 2022).

Metode hidrotermal merupakan suatu proses pembentukan material dengan penggunaan air pada suhu rendah dan tekanan tinggi untuk merubah struktur kristal dan membentuk material nano struktur. Metode ini dianggap paling efektif digunakan karena dapat dikerjakan pada suhu dan tekanan yang rendah serta dengan bantuan pelarut sebagai pembentuk suatu material berpori. Pada prinsipnya metode ini adalah memproduksi karbon dengan cara merubah kelarutan, melelehkan bagian kristalin, mempercepat interaksi fisikokimia, perantara reaksi asam / basa atau ionik dan pengendapan material karbon (Prasetyowati *et al.*, 2021).

2.2.4 Adsorpsi

Adsorpsi merupakan suatu peristiwa menempelnya atom atau molekul pada suatu zat di permukaan zat lain yang disebabkan adanya ketidakseimbangan gaya pada permukaan. Proses adsorpsi dibagi menjadi dua yaitu adsorpsi kimia dan adsorpsi fisika. Proses adsorpsi dapat dilihat pada gambar 2.1



Gambar 2.1 Proses Adsorpsi
(Sumber : Nika *et al.*, 2022)

Zat yang teradsorpsi disebut adsorbat dan zat pengadsorpsi disebut dengan adsorben. Adsorpsi dibagi menjadi dua metode yaitu secara kimia dan fisika. Selain itu, adsorpsi secara umum merupakan proses pengumpulan substansi terlarut yang terdapat dalam larutan oleh permukaan zat atau benda penjerap, dimana terjadi suatu ikatan kimia fisika antara substansi dengan penjerapannya. Pada proses adsorpsi secara fisika terjadi bila molekul-molekul adsorbat bergabung atau terikat tanpa disertai reaksi pada permukaan adsorben. Molekul-molekul adsorbat terikat karena adanya gaya tarik-menarik yang relatif lemah dengan permukaan adsorben. Gaya ini adalah disebut gaya van der Waals. Adsorpsi berlangsung cepat, reversible, dan kalor reaksinya rendah. Adsorbat pada adsorpsi fisika tidak terikat secara kuat pada permukaan adsorben, sehingga adsorbat dapat bergerak dari suatu bagian permukaan ke bagian permukaan yang lain (Ultama, 2020). Pada saat ini, adsorben yang paling banyak digunakan ialah karbon aktif karena memiliki luas permukaan yang cukup tinggi sehingga daya adsorpsinya lebih baik dibandingkan adsorben lainnya.

Adsorben yang menjanjikan merupakan adsorben yang berasal dari limbah organik seperti limbah tanaman jagung, padi, pisang dan lain-lain. Dari beberapa limbah tersebut yang menarik adalah limbah sekam padi. Menurut Badan Pusat Statistik Nasional (BPS Nasional) produksi padi di Indonesia dalam 3 tahun terakhir mengalami peningkatan dari tahun 2013 sebanyak 71,28 Ton GKG (Gabah Kering Giling) kemudian pada tahun 2014 sebanyak 73,85 juta ton GKG

serta pada tahun 2015 sebanyak 75 juta ton GKG. Dari peningkatan produksi padi maka akan semakin meningkat limbah sekam padi yang dihasilkan. Keberadaan sekam padi juga belum menjadi perhatian dengan pengolahan yang masih sangat terbatas. Dalam hal ini, sekam padi ini dapat dimanfaatkan karena mengandung selulosa dan hemiselulosa sehingga mempunyai potensi yang cukup besar untuk dijadikan sebagai penjerap yang memiliki gugus OH yang terikat sehingga dapat berinteraksi dengan komponen adsorbat (Wardalia, 2016).

2.2.5 Zat Warna *Naphthol Yellow* (NY)

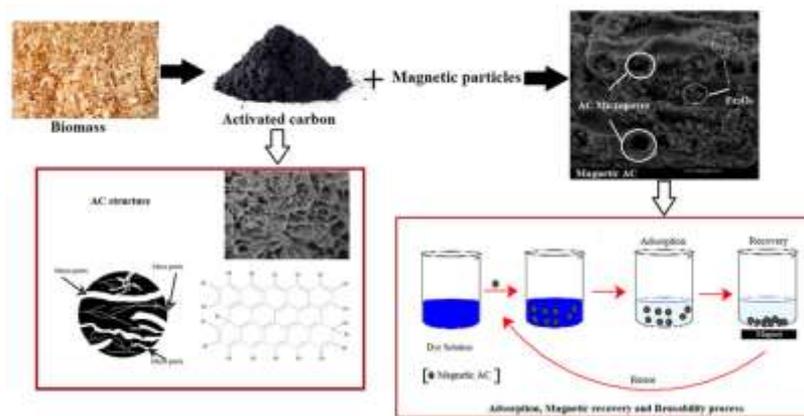
Pewarna adalah senyawa organik aromatik dengan struktur yang kompleks yang larut dalam air. Dari banyaknya kegiatan industri tekstil menghasilkan 10% -15% dari zat warna yang ditemukan dalam air limbah. Air yang tercemar pewarna dapat menyebabkan kerusakan lingkungan terutama bagi ekosistem pada perairan. Dampak limbah yang mengandung zat warna NY yang mencemari lingkungan dapat mempengaruhi kesehatan makhluk hidup. Bila kontak dengan mata akan menyebabkan cedera permanen dan rasa terbakar pada mata. Bila kontak dengan kulit akan menyebabkan iritasi bahkan kanker kulit. Beberapa zat warna yang terdegradasi memiliki senyawa yang bersifat toksik dan mutagenik pada makhluk hidup.

Salah satu zat warna sintesis yang digunakan adalah zat warna *Naphthol Yellow*. Pewarna ini adalah suatu padatan kristalin putih yang memiliki bau seperti etanol dan sulit larut dalam air. Dari uraian tersebut, resiko utama terhadap kesehatan dapat menjadi iritasi mata dan saluran pernafasan yang bersifat toksik apabila terhirup. Menyebabkan darah abnormal serta kerusakan hati dan ginjal. Apabila kontak dengan kulit dapat mengakibatkan iritasi kulit (Hartina *et al.*, 2020).

2.2.6 Proses Interaksi Kimia pada Adsorpsi *Naphthol Yellow* (NY) dengan Adsorben KA

Adsorpsi yang terjadi dipengaruhi oleh interaksi kimia yang terbentuk akibat adanya ikatan kimia antara NY dengan gugus karboksilat yang terdapat pada permukaan KA. Ikatan terbentuk antara zat warna dengan gugus karboksilat

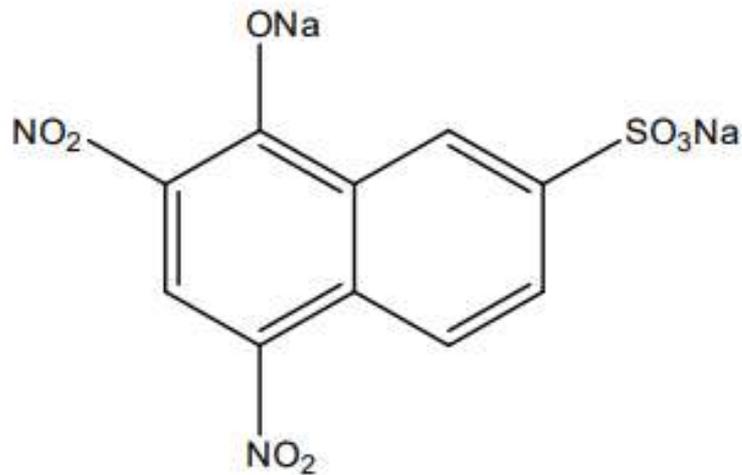
yang berupa pembentukan ikatan hidrogen antara atom oksigen (O) pada asam karboksilat dengan hidrogen (H) dari zat warna, maupun hidrogen (H) dari gugus asam karboksilat dengan oksigen (O) maupun atom elektronegatif lain (misalnya nitrogen (N)) dari zat warna. Berdasarkan strukturnya, NY merupakan zat warna anionik yang akan membentuk anion jika dilarutkan dalam air dengan melepaskan Na^+ . Proses adsorpsi NY dengan KA dapat dilihat pada gambar 2.2.



Gambar 2.2 Proses Adsorpsi NY dengan KA

(Sumber : Moosavi *et al.*, 2020)

Pada struktur NY, tampak adanya atom-atom oksigen (O) yang dapat membentuk ikatan hidrogen. Berdasarkan hasil tersebut, interaksi yang terjadi antara NY dengan karbon aktif diperkirakan terjadi akibat adanya ikatan hidrogen antara atom-atom oksigen (O) yang terdapat pada NY dengan atom hidrogen (H) pada gugus asam karboksilat karbon aktif. Jika atom H pada gugus asam karboksilat tersebut berada pada pori yang berukuran lebih kecil daripada ukuran molekul NY, maka NY tidak dapat teradsorpsi oleh karbon aktif (Utomo *et al.*, 2019). Struktur molekul *Naphtol Yellow* (NY) dapat dilihat pada gambar 2.3.



Gambar 2.3 Struktur *Naphthol Yellow*

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

2.2.7 Faktor yang mempengaruhi Adsorpsi

Adsorpsi merupakan proses berlangsungnya gaya tarik menarik antara substansi terserap dan adsorbennya. Beberapa faktor yang mempengaruhi daya serap adsorpsi sebagai berikut (Suarsa, 2018) :

a. Sifat adsorben

Arang aktif merupakan pengemban yang berupa suatu padatan berpori, yang mana unsur karbon bebas adalah bagian terbesar dari penyusunnya yang pada masing-masingnya berikatan secara kovalen. Sehingga sifat dari permukaan karbon aktif adalah non polar. Selain penyusun dan polaritasnya, faktor penting yang juga harus diperhatikan adalah unsur pori. Semakin kecil pori pada arang aktif maka luas permukaan semakin besar. Oleh karena itu kecepatan adsorpsi akan bertambah besar.

b. Sifat Serapan

Arang aktif dapat mengadsorpsi berbagai senyawa, tetapi kemampuan mengadsorpsi setiap senyawa berbeda. Semakin besar ukuran molekul serapan dari struktur yang sama akan mengakibatkan daya adsorpsi semakin besar, seperti dalam deret homolog. Gugus fungsi, posisi gugus fungsi, ikatan rangkap, struktur rantai dari senyawa yang diserap juga berpengaruh pada proses adsorpsi.

c. Temperatur

Pengamatan proses adsorpsi pada temperatur tertentu dianjurkan pada penggunaan arang aktif sebagai pengemban dengan menitik beratkan pada viskositas dan stabilitas termal.

d. Derajat Keasaman (pH)

Semakin turun derajat untuk asam-asam organik, maka adsorpsi akan meningkat dengan penambahan asam-asam mineral. Adapun yang menjadi penyebab adalah kemampuan asam mineral untuk mengurangi ionisasi asam organik tersebut, tetapi jika pH asam organik dinaikan dengan menambah alkali, adsorpsi akan berkurang akibat terbentuknya garam.

e. Waktu Kontak

Untuk mencapai kesetimbangan memerlukan waktu jika arang aktif ditambahkan dengan suatu cairan dan waktu yang dibutuhkan berbanding terbalik dengan jumlah arang yang digunakan. Selisihnya bergantung pada jumlah karbon aktif, pengadukan jika mempengaruhi waktu kontak. Manfaat dari waktu kontak itu sendiri adalah untuk memberikan kesempatan antar partikel arang aktif dengan senyawa serapan saling bersinggungan. Adsorpsi zat warna NY meningkat sejalan dengan bertambahnya waktu kontak untuk mencapai waktu optimum. Pernyataan ini diperkuat oleh Ariyanto *et al.* (2021) yang menyatakan bahwa semakin banyak NY yang terserap oleh KAM dikarenakan semakin lamanya waktu kontak antara KAM dengan NY.

2.2.8 Kapasitas Adsorpsi

Parameter khusus dapat mempengaruhi proses adsorpsi dari senyawa organik diantaranya: massa adsorben, struktur molekul dan pH larutan influen. Parameter adsorpsi mempengaruhi besarnya kapasitas suatu adsorben dalam menyerap adsorbat. Kapasitas adsorpsi menyatakan banyaknya adsorbat yang mampu terakumulasi pada permukaan adsorben. Kapasitas adsorpsi yang maksimum dapat diperoleh setelah dilakukan optimalisasi parameter yang mempengaruhi adsorpsi (Asnawati *et al.*, 2017).

2.2.9 Komposit

Komposit adalah suatu material baru yang terbuat dari dua atau lebih material berbeda yang ketika digabungkan memiliki sifat lebih baik dari material asli. Bahan komposit antara lain bertujuan meningkatkan sifat individu bahan seperti kekuatan, struktur, stabilitas sifat kimia dan fisika, sehingga diperoleh bahan baru dengan mutu yang lebih baik (Damara, 2023).

Untuk mendapatkan hasil komposit karbon aktif/ Fe_3O_4 dengan metode hidrotermal. Metode ini dianggap paling efektif digunakan karena dapat dikerjakan pada suhu dan tekanan yang rendah serta dengan bantuan pelarut sebagai pembentuk suatu material berpori (Prasetyowati *et al.*, 2021).

2.2.10 Gugus Fungsi Karbon Aktif Magnet Fe_3O_4 (KAM)

Gugus fungsi adalah sekelompok atom yang menyebabkan perilaku kimia pada molekul induk. Gugus fungsi organik berupa alkohol, eter aldehid dan keton, asam karboksilat dan amina (Firmansyah, 2020). Analisis gugus fungsi menggunakan FTIR. Pengadsorpsian energi pada berbagai frekuensi dapat dideteksi oleh spektrofotometer infra merah, yang akan memplot jumlah radiasi infra merah yang diteruskan melalui cuplikan sebagai frekuensi atau panjang gelombang radiasi. Diambil dari beberapa penelitian mengenai karakteristik gugus fungsi nanopartikel Fe_3O_4 atau KAM dapat dilihat pada Tabel 2.2.

Tabel 2.2 Gugus Fungsi KAM

Referensi	Gugus Fungsi	Bilangan Gelombang (cm^{-1})
Louis <i>et al.</i> (2023)	C=C	1500-2000
	C-O	1247
	Fe-O	400-700
Yaghoobi <i>et al.</i> (2023)	C-O	1020-1237
	O-H Bending	1627
	Fe-O	700
Nika <i>et al.</i> (2022)	C-H	2800-3000
	C-O	1050-1300
	Fe-O	500-700

Referensi	Gugus Fungsi	Bilangan Gelombang (cm ⁻¹)
Fisli <i>et al.</i> (2019)	O-H <i>Stretching</i>	3440
	C-O	1000-1200
	Fe-O	500-700

2.2.11 Pembentukan Morfologi Permukaan

KAM dikarakterisasi menggunakan SEM-EDX yang bertujuan untuk melihat permukaan atau tekstur, bentuk dan ukuran dari adsorben komposit yang dihasilkan. Menurut Fisli *et al.* (2019) menyatakan bahwa pada perbesaran 20.000 kali KA yang dikompositkan dengan Fe₃O₄ pada sebelum dikomposit struktur permukaan masih berupa lembaran dan ketika dikompositkan berubah yang ditandai dengan adanya gerombolan bulatan halus pada permukaan pori.

2.2.12 *Fourier Transform Infra Red (FTIR)*

Fourier Transform Infra Red (FTIR) melibatkan penyerapan radiasi elektromagnetik di wilayah infra merah spektrum yang menghasilkan perubahan energi getaran molekul akan mengalami getaran dalam bentuk peregangan, pembengkokan dll yang diserap energi akan digunakan untuk mengubah tingkat energi terkait dengannya. Merupakan alat yang tangguh dalam mengidentifikasi senyawa organik yang memiliki ikatan kimia polar (seperti OH, NH, CH, dll) dengan pemisahan muatan yang baik (dipol kuat) (Ahdiaty, 2022).

FTIR awalnya dirancang sebagai spektrofotometer berkas ganda yang terdiri Sumber IR (bahan keramik panas merah), monokromator. Teknik ini menggunakan satu berkas cahaya yang tidak tersebar dan memiliki komponen instrumen mirip dengan sebelumnya. Untuk melakukan jenis interferensi perhitungan cahaya pola diperlukan dimana Instrumen FTIR berisi dua cermin, satu cermin tetap dan satu dapat dipindahkan dengan pemecah berkas diantara mereka. Sebelum memindai sampel referensi atau pemindaian kosong diperlukan. Alat instrumentasi FTIR dapat dilihat pada gambar 2.4.



Gambar 2.4 Alat FTIR Merk Alpha II

(Sumber : Peneliti, 2024)

Daerah spektrum inframerah dibagi menjadi dua yaitu (Ahdiaty, 2022) :

1. Daerah Frekuensi Gugus Fungsi

Terletak pada radiasi $4000-1500\text{ cm}^{-1}$, daerah ini menunjukkan adsorpsi yang timbul karena adanya ikatan dan gugus fungsi. Puncak adsorpsi dalam daerah spektrum ini dengan mudah dikenal karena berasal dari gugus fungsional.

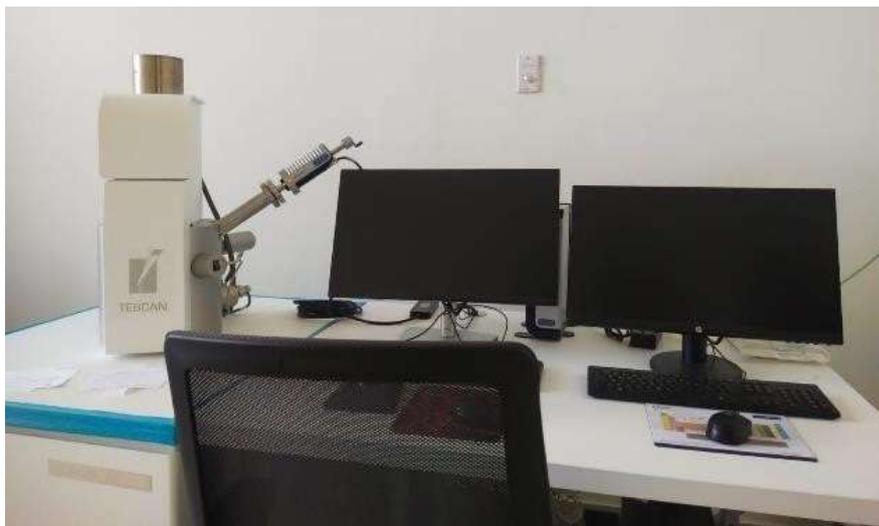
2. Daerah Sidik Jari

Terletak pada radiasi $1500-1000\text{ cm}^{-1}$, pita-pita adsorpsi pada daerah ini berhubungan dengan vibrasi molekul sehingga setiap atom dalam molekul saling mempengaruhi yang akan menghasilkan pita-pita adsorpsi yang khas untuk setiap model dan spesifik pada setiap senyawa organik.

Prinsip kerja FTIR menggunakan sistem optik dengan laser berfungsi sebagai sumber radiasi, kemudian diinterferensikan oleh radiasi Inframerah sehingga sinyal radiasi yang diterima oleh detektor memiliki kualitas yang baik dan bersifat utuh. Inframerah yang melewati celah ke sampel, berfungsi mengontrol jumlah energi yang disampaikan kepada sampel. Sebagian inframerah akan diserap oleh sampel dan sebagian lain ditransmisikan melalui permukaan sampel sehingga sinar inframerah lolos ke detektor dan sinyal yang terukur kemudian di kirim ke komputer (Ahdiaty, 2022).

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

Scanning Electron Microscope-Energy Dispersive X-Ray (SEM-EDX) adalah jenis mikroskop elektron yang berfungsi untuk mengetahui permukaan morfologi suatu sampel uji mikro dari suatu material. Pemindaian dilakukan menggunakan SEM pada pancaran tinggi elektron, elektron yang berinteraksi dengan atom membentuk sampel yang menghasilkan sinyal berisi informasi tentang sampel dari permukaan. Hasil karakterisasi SEM berupa pencitraan topografi dan sifat permukaan bubuk atau padatan karena ketajaman fokus dari alat SEM yang menghasilkan gambar dengan kualitas tiga dimensi yang pasti. Instrumentasi SEM-EDX dapat dilihat pada gambar 2.5.



Gambar 2.5 Alat SEM-EDX Merk *Tescan Vega*
(Sumber : Peneliti, 2024)

Prinsip kerja dari SEM yaitu dengan sampel ditembak dengan sinar elektron berenergi tinggi yang berasal dari *Electron Gun*, biasanya dengan energi 1-20 keV, secara kontinu yang dipercepat di dalam kumparan elektromagnetik yang dihubungkan oleh sampel memberikan informasi mengenai keadaan permukaan suatu sampel senyawa. Sinar elektron akan ditembakkan melewati sampel kemudian mendeteksi ‘*Secondary Electron*’ dan *Backscattered Electron* yang dikeluarkan. *Secondary Electron* berasal dari 5-15 nm dari permukaan sampel memberikan informasi berupa topografi dan tingkat

yang kurang dari variasi unsur dalam sampel. *Backscattered electron* yang terlepas dari daerah sampel yang lebih dalam menghasilkan informasi terutama pada jumlah atom rata-rata dari sampel. Kemudian sampel dideteksi dan dikuatkan oleh tabung multiplier untuk ditransmisikan ke *scanner* lalu ke TV, sehingga bentuk dan ukuran sampel terlihat dalam bentuk siaran (*imaging beam*) (Ahdiaty, 2022).

2.2.14 Spektro UV-Visible

Instrumentasi UV-Vis melibatkan penyerapan radiasi elektromagnetik oleh zat di daerah ultraviolet dan daerah spektrum yang terlihat. Instrumentasi Spektrofotometer UV-Vis dapat dilihat pada gambar 2.6.



Gambar 2.6 Alat Spektrofotometer UV-Vis Merk *BMG Labtech*

(Sumber : Peneliti, 2024)

Prinsip kerja dari Spektrofotometer UV-Vis yaitu cahaya yang berasal dari sumber sinar (lampu *deuterium* maupun *wolfram*) yang bersifat polikromatis akan diteruskan melalui lensa menuju monokromatur yang mengubah cahaya polikromatis menjadi monokromatis. Banyaknya cahaya yang diteruskan maupun diserap oleh sampel didalam kuvet akan dibaca oleh detektor. Detektor akan menghitung cahaya yang diterima dan diserap oleh sampel. Cahaya yang diserap akan diteruskan ke layar untuk dibaca sebagai pengukuran. Hasil pengukuran sebanding dengan konsentrasi zat yang terkandung dalam sampel (Ahdiaty, 2022)

2.3 Hipotesis

1. Jumlah variasi komposisi massa Karbon Aktif Magnet (KAM) berpengaruh terhadap Gugus Fungsi, Morfologi Permukaan Pori, dan Kandungan Fe yang terkomposit. Semakin banyak massa KA maka Fe yang terkomposit akan semakin banyak. Analisis gugus fungsi pada KAM mengandung gugus Fungsi C-O, O-H, C=C dan Fe-O dengan adanya gugus fungsi Fe-O yang terdapat pada KAM menunjukkan adanya senyawa Fe_3O_4 didalamnya.
2. Jumlah variasi massa adsorben KAM berpengaruh terhadap kapasitas adsorpsi. Semakin banyak massa adsorben KAM yang digunakan maka nilai kapasitas adsorpsi dalam penjerapan zat warna *Naphthol Yellow* akan semakin optimal.
3. Variasi lama waktu kontak KAM berpengaruh terhadap kapasitas adsorpsi zat warna *Naphthol Yellow*. Semakin lama waktu kontak maka nilai kapasitas adsorpsi akan semakin tinggi karena tumbukan yang terjadi selama proses adsorpsi.
4. Metode hidrotermal dan non hidrotermal berpengaruh terhadap karakterisasi KAM. Pada gugus fungsi tidak terdapat perbedaan yang signifikan. Namun, perbedaan yang mencolok terdapat pada morfologi permukaan dengan metode hidrotermal memiliki permukaan pori dan unsur Fe yang lebih banyak dengan nilai kapasitas adsorpsi yang lebih besar jika dibandingkan dengan KAM non hidrotermal