

LAPORAN
PENELITIAN INTERNAL DOSEN
Program Studi Kimia Fakultas Sains dan Teknologi



**EKSPLORASI EFEKTIVITAS ASAM ALAMI UNTUK AKTIVASI
KARBON AKTIF BONGGOL JAGUNG PADA PROSES ADSORPSI
METILEN JINGGA**

Tim Peneliti:

Erwanto, S.Si., M.Si
Zuffa Annisa, S.Pd., M.Si
Nafarida Almukharomah

Dibiayai oleh:

Universitas Bojonegoro

Periode 1 Tahun Anggaran 2025/2026

UNIVERSITAS BOJONEGORO

2025

HALAMAN PENGESAHAN

PROPOSAL PENELITIAN PENDANAAN PERGURUAN TINGGI

1. **Judul Penelitian** : **Eksplorasi Efektivitas Asam Alami untuk Aktivasi Karbon Aktif Bonggol Jagung pada Proses Adsorpsi Metilen Jingga**

2. **Ketua Peneliti**
 - a. Nama Peneliti : Erwanto, S.Si., M.Si
 - b. NIDN : 0718129102
 - c. Program Studi : S1-Kimia
 - d. E-mail : erwantokimia@gmail.com
 - e. Bidang Keilmuan : Kimia Katalis dan Anorganik
3. **Anggota Peneliti 1**
 - a. Nama (Dosen/ Mahasiswa) : Zuffa Annisa, S.Pd., M.Si
 - b. NIDN/NIM : 0728088905
 - c. Program Studi : S1-Kimia
 - d. E-mail : zuffa.anisa@gmail.com
 - e. Bidang Keilmuan : Material Advance
- Anggota Peneliti 2**
 - a. Nama (Dosen/ Mahasiswa) : Nafarida Almkharomah
 - b. NIDN/NIM : 24472011009
 - c. Program Studi : S1-Kimia
 - d. E-mail : Nafarida.almukharomah@gmail.com
 - e. Bidang Keilmuan : Kimia Material
4. **Jangka Waktu Penelitian** : 6 bulan
6. **Lokasi Penelitian** : Laboratorium Kimia Unigoro
7. **Dana Diusulkan** : 3.500.000

Bojonegoro, 16 Februari 2026

Mengetahui,
Ketua LPPM Universitas Bojonegoro

Pengusul,

Dr. Laily Agustina Rahmawati, S.Si., M.Sc.
NIDN 07 2108 8601

Erwanto, S.Si., M.Si
NIDN. 0718129102

KATA PENGANTAR

Dengan mengucapkan puji syukur ke hadirat Allah SWT karena atas petunjuk, berkah dan hidayahnya penulis dapat menyelesaikan Usulan Penelitian Internal Dosen ini dengan baik.

Laporan ini berisi tentang rencana penelitian pengembangan produksi biodiesel dengan biaya rendah. Ucapan terima kasih penulis haturkan atas berbagai bantuan dan dukungan dari pihak LPPM Universitas Bojonegoro dalam pelaksanaan penelitian dengan judul “Eksplorasi Efektivitas Asam Alami untuk Aktivasi Karbon Aktif Bonggol Jagung pada Proses Adsorpsi Metilen Jingga” sehingga kegiatan dapat berjalan dengan lancar dan selesai tepat waktu.

Penulis menyadari bahwa dalam penyusunan proposal ini masih banyak terdapat kekurangan dan keterbatasan oleh karena itu penulis memohon maaf atas ketidak sempurnaan ini, tak lupa kritik dan saran yang membangun sangat penulis harapkan untuk keterbukaan dan penyempurnaan proposal ini. Semoga kegiatan Penelitian yang telah dilaksanakan dapat memberikan manfaat bagi semua pihak yang terkait.

DAFTAR ISI

HALAMAN PENGESAHAN.....	i
RINGKASAN	iv
BAB I.....	5
1.1 Latar Belakang	5
1.2 Rumusan Masalah	6
1.3 Tujuan Penelitian	6
1.4 Manfaat Penelitian	7
BAB II.....	8
2.1 Karbon Aktif.....	8
2.2 Proses Umum Pembuatan Karbon Aktif.....	12
2.3 Agen Aktivator.....	14
2.3.1 Aktivator Sintetik	14
2.3.2 Aktivator Alami	15
2.4 Metil jingga	16
2.5 Adsorpsi.....	18
2.6 Kerangka Konsep Penelitian	22
BAB III.....	23
METODE PENELITIAN	23
3.1 Alat dan Bahan	23
3.1.1 Alat	23
3.1.2 Bahan	23
3.2 Variasi Variabel.....	23
3.3 Prosedur Penelitian	23
BAB IV.....	1
4.1 Anggaran Biaya	1
BAB V TARGET LUARAN.....	Kesalahan! Bookmark tidak ditentukan.
DAFTAR PUSTAKA.....	3

RINGKASAN

Karbon aktif (Activated Carbon-AC) banyak dimanfaatkan untuk menyerap zat pencemar karena struktur berpori dan luas permukaannya besar. Aktivasi umumnya menggunakan bahan kimia sintetik yang beresiko terhadap kesehatan dan lingkungan, sebagai alternatif yang lebih aman jeruk nipis digunakan sebagai aktivator alami untuk menghasilkan AC bonggol jagung yang ramah lingkungan. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi pengaruh jenis aktivator terhadap gugus fungsi permukaan AC bonggol jagung melalui karakterisasi FTIR, pengaruh massa, dan waktu kontak AC terhadap adsorpsi metil jingga dalam larutan. Adapun tahapan utama yang dilakukan pada penelitian ini, yaitu karbonisasi, aktivasi menggunakan empat jenis aktivator yang meliputi (asam klorida, jeruk nipis, asam sitrat, dan asam askorbat), karakterisasi FTIR, dan uji adsorpsi metil jingga. Hasil FTIR menunjukkan bahwa aktivasi kimia menggunakan asam klorida (HCl), jeruk nipis, asam sitrat ($C_6H_8O_7$), dan asam askorbat ($C_6H_8O_6$) mampu menghilangkan pita serapan pada bilangan gelombang 2350^{-1} yang mengindikasikan gugus karbonil ($O=C=O$) dari senyawa oksigen permukaan. Sebaliknya, struktur aromatik tetap stabil sebagai mana ditunjukkan bahwa pita-pita khas pada 1600, 1040-1060, dan 440 cm^{-1} yang menunjukkan bahwa proses aktivasi berhasil membersihkan gugus polar tanpa merusak kerangka karbon aromatik, yang penting untuk meningkatkan sifat adsorpsi dari karbon aktif. Uji adsorpsi metil jingga dilakukan dengan memvariasikan massa karbon aktif (0,4; 0,6; dan 0,8 gram) serta waktu kontak (10, 20, 30, 40 menit). Hasil menunjukkan bahwa efisiensi adsorpsi meningkat seiring dengan penambahan massa dan waktu kontak. Aktivator jeruk nipis menunjukkan kinerja adsorpsi terbaik dengan efisiensi maksimum mencapai 83,19% pada waktu kontak 40 menit. Temuan ini memperkuat bahwa kondisi permukaan AC hasil aktivasi kimia sangat berpengaruh terhadap kapasitas adsorpsi metil jingga. Temuan ini membuktikan bahwa jenis aktivator mempengaruhi struktur permukaan AC yang berdampak langsung terhadap kinerjanya sebagai adsorben. Dari penelitian ini ditargetkan luaran wajib berupa publikasi pada Jurnal Rekayasa Kimia dan Lingkungan <https://sinta.kemdiktisaintek.go.id/journals/profile/15362> atau yang setara dengan Jurnal Terakreditasi Nasional Sinta 2.

Kata kunci: Aktivator; Karbon aktif; Jeruk Nipis; Asam sitrat; dan Asam askorbat

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Permintaan terhadap karbon aktif (AC) terus menunjukkan tren kenaikan, bahkan mencapai sekitar 5,5% setiap tahun dalam sepuluh tahun terakhir (Mishra et al., 2024). Kenaikan ini tidak lepas dari meningkatnya perhatian publik dan industri terhadap pengelolaan lingkungan serta kesadaran peningkatan kualitas kesehatan masyarakat. Karbon aktif sendiri dikenal luas sebagai adsorben serbaguna karena memiliki struktur berpori, luas permukaan yang besar, dan komposisi karbon yang tinggi, yaitu sekitar 85–90% (Dewi et al., 2021). Karakteristik tersebut membuat AC mampu mengikat beragam jenis polutan, mulai dari logam berat (Kobzev et al., 2020), senyawa organik (Barenboim et al., 2013), hingga zat warna sintesis (Ariyanto et al., 2021). Seiring meningkatnya kebutuhan, berbagai penelitian mulai mencari bahan baku alternatif yang lebih murah dan berkelanjutan, salah satunya dengan memanfaatkan limbah pertanian (Fitriansyah et al., 2021; Chew et al., 2023).

Di antara berbagai jenis limbah pertanian, bonggol jagung (*Zea mays* L.) (BJ) menjadi salah satu yang paling melimpah dan mudah diperoleh (Habiba et al., 2023). Indonesia, misalnya, menghasilkan sekitar 14,46 juta ton jagung setiap tahun, yang menyumbang lebih dari 4 juta ton bonggol jagung (Kementerian Pertanian, 2023). Limbah ini kerap kali hanya dibakar atau dibiarkan menumpuk di area terbuka, sehingga berpotensi menimbulkan masalah lingkungan dan mengganggu aktivitas masyarakat (Fajarwati et al., 2022). Padahal, dengan kandungan karbon yang mencapai 43,42% dan hidrogen sekitar 6,32%, bonggol jagung sebenarnya memiliki karakteristik yang menjanjikan sebagai bahan dasar pembuatan adsorben (Ganing et al., 2023).

Sejumlah penelitian pun telah menunjukkan bahwa bonggol jagung dapat diolah menjadi karbon aktif dengan performa adsorpsi yang cukup kompetitif. Sari et al. (2022) melaporkan bahwa karbon aktif dari bonggol jagung mampu menghilangkan logam berat maupun senyawa organik dari air limbah. Penelitian lain oleh Fitriani et al. (2021) menunjukkan kapasitas adsorpsi yang tinggi terhadap metil jingga, mencapai efisiensi hingga 95% pada konsentrasi awal 50 mg/L. Temuan-temuan ini menguatkan bahwa bonggol jagung merupakan bahan baku potensial yang tidak hanya murah dan melimpah, tetapi juga efektif untuk menghasilkan karbon aktif dalam berbagai aplikasi pengolahan limbah cair.

Namun, efektivitas AC yang dihasilkan sangat bergantung pada metode aktivasi yang digunakan (Malini et al., 2023). Dalam proses pembuatan AC, tahap aktivasi sering kali dilakukan menggunakan bahan kimia sintetik seperti asam klorida (HCl) (Mustafa et al., 2023), H₂SO₄ (Fatimah et al., 2023), ZnCl₂ (Pambayun et al., 2013). Meskipun aktivator sintetik dapat meningkatkan kapasitas adsorpsi AC, penggunaannya juga menimbulkan

risiko kesehatan dan dampak lingkungan yang serius. Penelitian oleh Mustafa et al. (2023) mengungkapkan bahwa residu dari proses aktivasi dengan HCl dapat berbahaya jika tidak dikelola dengan baik, dan paparan terhadap bahan kimia berbahaya ini dapat menimbulkan risiko kesehatan bagi pekerja dan masyarakat sekitar.

Sebagai alternatif yang lebih ramah lingkungan, penggunaan aktivator alami seperti jeruk nipis (JN) (*Citrus aurantifolia*) mulai mendapatkan perhatian. JN mengandung senyawa asam yang bermanfaat, seperti asam amino (R. K. Lestari et al., 2018), asam sitrun (Gozali et al., 2023), asam askorbat 27 mg/100 g buah (Ermawati et al., 2014), dan asam sitrat 7-7,5% yang didapatkan dari 100g buah (Rochmah et al., 2014), yang dapat berfungsi sebagai agen aktivasi dalam proses pembuatan AC. Penelitian oleh (Aprilianti et al., 2023) Penggunaan air jeruk nipis pada saat pengaktifan arang tempurung kelapa terbukti memiliki diameter pori yang besar daripada arang yang tidak diaktifkan dengan air jeruk nipis, dimana zat pengotor telah menguap pada saat pengaktifan sehingga memperbanyak pori yang terbentuk, menyebabkan perubahan pada pori dan termasuk dalam kategori mesopori, hal tersebut membuktikan bahwa jeruk nipis dapat digunakan sebagai aktivator asam. Selain itu, penggunaan aktivator alami ini dapat mengurangi dampak negatif terhadap lingkungan dan meningkatkan kualitas AC yang dihasilkan.

Berdasarkan uraian di atas, maka dalam penelitian ini akan membandingkan efektivitas aktivator sintetik asam klorida (HCl), aktivator alami jeruk nipis, dan aktivator buatan (sintetis) larutan asam (Asam sitrat dan asam askorbat) dengan konsentrasi yang setara dengan yang ditemukan pada jeruk nipis dalam proses pembuatan arang aktif dari bonggol jagung. Setelah itu dilakukan uji adsorpsi pada metil jingga dalam larutan. Selain itu, dilakukan karakterisasi dengan menggunakan FTIR (Fourier Transform Infrared). Dengan membandingkan keempat jenis aktivator ini, diharapkan dapat diperoleh arang aktif yang memiliki kapasitas adsorpsi yang lebih baik dan lebih ramah lingkungan.

1.2 Rumusan Masalah

1. Bagaimana pengaruh aktivator asam ekstrak jeruk nipis (JN), asam sitrat (AS) dan asam askorbat (AK) pada hasil sintesis KA dari BJ?
2. Bagaimana pengaruh KA@JN, KA@AS dan KA@AK terhadap efisiensi adsorpsi metil jingga?

1.3 Tujuan Penelitian

1. Menentukan pengaruh jenis aktivator asam alami, yaitu ekstrak jeruk nipis (JN), asam sitrat (AS), dan asam askorbat (AK), terhadap karakteristik dan kualitas karbon aktif (KA) yang disintesis dari biomassa jerami (BJ).
2. Menganalisis pengaruh variasi karbon aktif teraktivasi (KA@JN, KA@AS, dan KA@AK) terhadap efisiensi adsorpsi pewarna metil jingga, termasuk kapasitas adsorpsi, kinetika, dan potensi mekanisme adsorpsi yang terjadi.

1.4 Manfaat Penelitian

1. Kontribusi ilmu pengetahuan berupa pemahaman mengenai efektivitas aktivator asam alami dalam meningkatkan performa karbon aktif berbasis biomassa, sehingga dapat menjadi alternatif pengganti aktivator kimia yang lebih toksik dan mahal.
2. Memberikan informasi teknologi ramah lingkungan dalam proses aktivasi karbon aktif menggunakan sumber asam dari bahan alami (jeruk nipis, asam sitrat, dan asam askorbat), yang lebih aman dan berkelanjutan.
3. Menyediakan data komparatif mengenai kinerja adsorpsi KA@JN, KA@AS, dan KA@AK dalam menghilangkan pewarna metil jingga, sehingga dapat dipilih jenis aktivator yang paling optimal untuk aplikasi adsorpsi limbah cair.
4. Mendukung pengembangan material adsorben murah dan efektif berbasis limbah pertanian (jerami), sehingga dapat diaplikasikan pada industri pengolahan air limbah yang membutuhkan adsorben berbiaya rendah.
5. Sebagai dasar bagi penelitian lanjutan, seperti optimasi kondisi aktivasi, studi regenerasi adsorben, atau penerapan untuk jenis polutan lain pada sistem real wastewater.

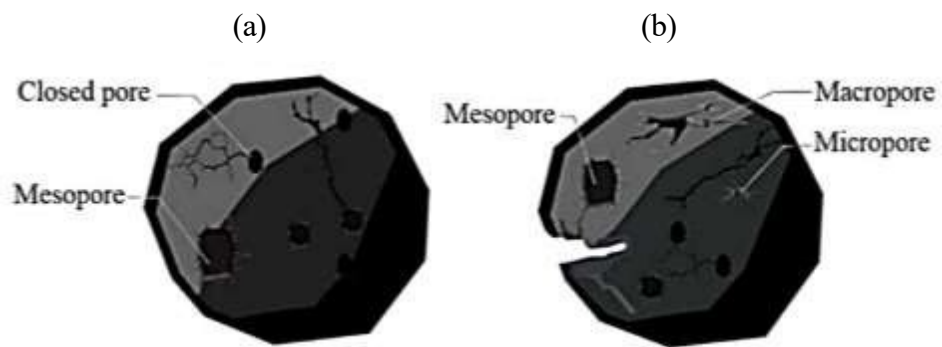
BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Karbon Aktif

AC merupakan bahan yang sering digunakan sebagai adsorben karena memiliki luas permukaan yang lebih besar daripada jenis adsorben lainnya. AC dapat diproduksi dari berbagai macam bahan dasar yang mempunyai kandungan karbon dan berpori yang bisa di dapat di alam yang diperlakukan secara khusus untuk menghasilkan luas permukaan dengan kisaran antara 300-3500 m²/gram. AC memiliki kemampuan sebagai adsorben atau zat penyerap. Hal ini dikarenakan AC memiliki pori yang mengandung karbon 85-95% sebagai tempat menangkap atau menyerap partikel (Dewi, et al.,2021). AC memiliki kemampuan daya serap yang baik terhadap kation, anion, dan molekul dalam bentuk senyawa anorganik dan organik baik itu larutan ataupun gas. Hal tersebut, daya serap dari AC menjadi identitas ataupun parameter penting penentu kualitasnya (Lubis et al.,2021). Permukaan yang ada pada karbon masih tertutupi oleh deposit hidrokarbon yang menghambat keaktifannya, akan tetapi AC mempunyai permukaan yang relatif bebas dari deposit sehingga dapat mengabsorpsi karena pori-porinya telah terbuka dan memiliki permukaan luas (Nenohai et al., 2023).

Menurut Terencece J.(Kemp, 2017) menyatakan unsur arang telah diperkenalkan dalam bentuk intan dan grafit yang memiliki ciri-ciri memiliki material karbon berpori. Struktur pori tersebut menjadikan AC dapat digunakan dalam berbagai aplikasi seperti; pengolahan limbah; limbah industri, limbah domestik dan adsorben kontaminan lain dalam air(Fatimah & Azinuddin, 2022). Berdasarkan *International Union of Pure and Applied Chemistry (IUPAC)* AC mempunyai karakteristik pori yang unik dengan luas permukaan pori dan volume pori yang tinggi. Pororitas yang tinggi AC dikarenakan mempunyai pori-pori yang kompleks, mulai dari ukuran mikropori dengan diameter pori kurang dari <2 nm, mesopori dengan diameter pori 2-50 nm, dan makro pori dengan ukuran pori lebih dari >50 nm (Das et al., 2023). Struktur pori tersebut menjadikan AC dapat digunakan dalam berbagai aplikasi seperti; pengolahan limbah; limbah industri, limbah domestik dan adsorben kontaminan lain dalam air(Fatimah & Azinuddin, 2022).

Gambar II.1 menunjukkan perubahan struktur pori karbon sebelum dan sesudah proses aktivasi. Sebelum aktivasi, material didominasi oleh pori-pori tertutup (*closed pore*) dan hanya sedikit pori berukuran sedang (*mesopore*), sehingga luas permukaan yang tersedia untuk adsorpsi masih terbatas. Setelah proses aktivasi, struktur pori menjadi lebih terbuka dan kompleks, ditandai dengan muncul pori-pori berukuran mikro, meso, dan makro. Pada proses aktivasi akan menyebabkan jumlah dan distribusi pori, sehingga memperluas permukaan aktif dan meningkatkan kapasitas adsorpsi AC (Mishra et al., 2024).

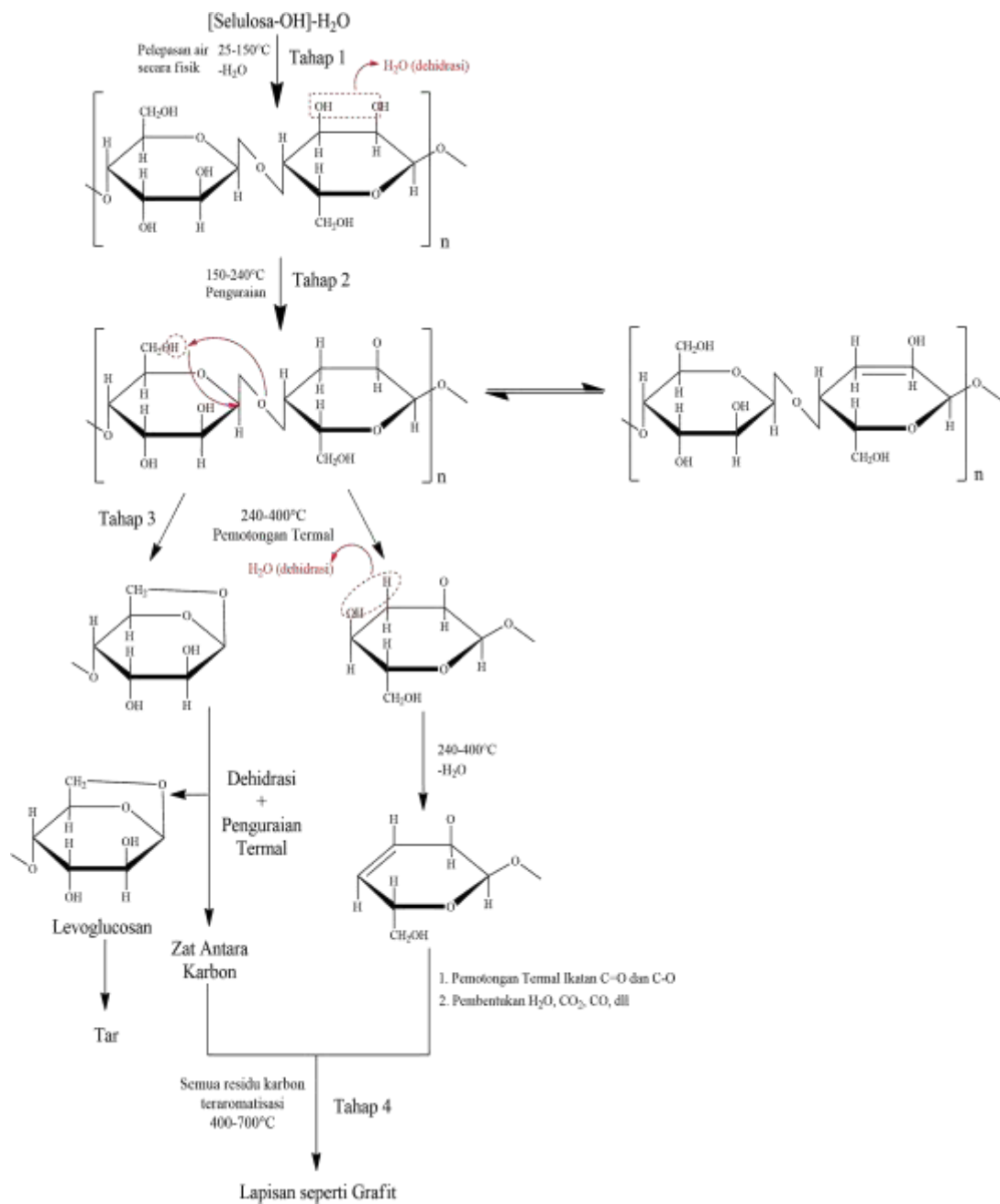


Sumber: (Ferreira & de Melo, 2021)

Gambar II. 1 Representasi Porositas Karbon (a) Sebelum Aktivasi (b) Setelah Aktivasi

Secara teori, AC dapat diproduksi dari berbagai bahan yang mengandung karbon. Namun, beberapa faktor, seperti tingginya kandungan karbon tetap dan rendahnya kandungan mineral, perlu diperhatikan saat memilih bahan prekursor (Budiman dan Jati 2018). Produk yang berasal dari limbah pertanian merupakan salah satu sumber bahan baku yang paling menarik untuk menghasilkan AC (Fitriansyah et al., 2021), terutama yang memiliki kandungan lignoselulosa, yang terdiri dari selulosa, hemiselulosa, lignin, dan komponen anorganik sebagai komponen kimia utamanya (Chew et al., 2023). Selulosa merupakan polisakarida yang mempunyai struktur yang berserat dan hydrogen bond (jembatan hidrogen) yang sangat kuat. Selulosa tidak dapat larut dalam kebanyakan pelarut, namun dapat larut dalam asam mineral dengan konsentrasi yang tinggi (akibat hidrolisis)

(Anisa et al., 2022). Pada Gambar II.2 menunjukkan mekanisme konversi selulosa menjadi karbon



Sumber: (Tang & Bacon, 1964)

Gambar II. 2 Mekanisme konversi selulosa menjadi karbon

Gambar II.2 di atas menunjukkan tahapan proses karbonisasi selulosa menjadi lapisan karbon melalui pemanasan bertahap. Tahap 1 (25-150°C) diawali dengan pelepasan air secara fisik dan dehidrasi awal, di mana molekul air bebas dan terikat

lemah keluar dari struktur tanpa merusak rantai polimer selulosa. Tahap 2 (150-240°C) terjadi dehidrasi berlanjut secara internal melalui pelepasan air dari gugus hidroksil antar unit glukosa, yang disertai awal penguraian struktur dan pembentukan ikatan baru yang menjadikan selulosa lebih stabil secara termal. Pada Tahap 3 (240-400°C), panas tinggi memicu pemutusan termal (thermal scission) pada ikatan glikosidik yang memecah rantai polimer menjadi fragmen- fragmen lebih kecil, diikuti pembentukan senyawa volatil seperti levoglukosan yang dapat berubah menjadi tar, serta pembentukan zat antara karbon (carbonaceous intermediate) melalui dehidrasai lanjutan dan melibatkan pemutusan lanjutan ikatan C-C dan C-O, menghasilkan gas-gas seperti H₂O, CO, dan CO₂. Akhirnya, Tahap 4 (400-700°C) melibatkan proses aromatisasi, yaitu penyusunan ulang atom karbon menjadi struktur cincin aromatik stabil dan pelepasan hidrogen, menghasilkan residu karbon dengan lapisan mirip grafit yang memiliki kandungan karbon tinggi dan stabil secara thermal.

Limbah pertanian adalah sumber yang paling sering digunakan karena memiliki kandungan lignin dan selulosa yang tinggi (Chew et al., 2023). Selain itu, limbah pertanian juga mudah didapat dan biaya yang digunakan relatif rendah (Aritonang et al. 2022) (Budiman & Jati, 2018). Beberapa limbah pertanian yang telah digunakan untuk pembuatan karbon aktif dapat dilihat pada Tabel II.1

Tabel II. 1 Karbon Aktif Limbah Pertanian dan Aplikasinya

Sumber	Aplikasi	Hasil	Referensi
Tempurung Siwalan	Sebagai adsorpsi metilen biru .	proses adsorpsi berdasarkan nilai R ₁ (dimensi kuantitas adsorpsi) (0,214- 0,259) menunjukkan kategori baik.	(Nitsae et al., 2020)
Sekam Padi dan Kulit Pisang	Di gunakan untuk menurunkan kadar logam besi.	Kadar besi (Fe) turun dari nilai 0,568 ppm menjadi 0,00 ppm	(Roni et al., 2021)
Cangkang Bintaro	Untuk menghilangkan zat warna Red-120	Dengan model Freundlich kapasitas adsorpsi maksimum untuk RR dan	(Aisyahluka et al., 2018)

Sumber	Aplikasi	Hasil	Referensi
	(RR) dan Reactive Blue-198 (RB).	RB masing-masing 332,6 dan 243,9 mg/g.	
Sabut Kelapa	Adsorpsi logam kromium	Kapasitas adsorpsi maksimum 3,464 mg/g dan kondisi optimum tercapai pada waktu kontak 150 menit	(Sholikhah et al., 2021)
Batang Bambu	Di gunakan adsorben ion krom (III) dan Timbal (II)	Kapasitas adsorpsi untuk ion logam Cr(III) dan Pb(II) berturut- turut 0,6305 mg/g dan 0,6500 mg/g dari larutan 50 ppm	(Krismayan ti et al., 2019)
Bongkol Jagung	Dipakai sebagai absorben untuk mengurangi kandungan dalam limbah tahu	Kadar ion tembaga (II) yang dapat teradsorpsi mencapai 99,83%.	(Mantong et al., 2018)

2.2 Proses Umum Pembuatan Karbon Aktif

Persiapan pembuatan AC dari bahan mentah melibatkan tiga tahap proses utama:

a. Dehidrasi

Proses dehidrasi adalah proses pelepasan air yang terkandung dalam bahan dasar pembuatan AC sehingga proses karbonisasi lebih sempurna yaitu dengan dilakukan dengan cara penjemuran bahan baku dibawah sinar matahari atau dapat dipanaskan di dalam oven. Proses ini dilakukan berbentuk bahan baku.

b. Karbonisasi

Karbonisasi merupakan proses pengurangan di dalam ruangan yang kedap udara dan bahan kimia lainnya (Rampe & Tiwow, 2018). Proses ini menggunakan pemanasan dengan rentang suhu 300°C-650°C dalam kurun waktu 4-7 jam (Laos et al., 2016). Namun, keadaan ini tergantung dengan bahan baku yang digunakan. Hasil karbonisasi dibagi menjadi tiga jenis produk yaitu berupa padatan

(*charcoal*/karbon), cairan (*boi-oil*), dan gas (*condensable gas*). Produk gas yang didapat dapat dikondensasi bisa dipecah lebih lanjut lagi menjadi gas yang tidak terkondensasi yaitu berupa (CO, H₂, CH₄, dan CO₂), arang dan cair (Yunfa Winata et al., 2020). Hasil dari karbonisasi dilanjutkan dengan penghalusan seperti digiling atau ditumbuk menggunakan mortar, serbuk arang membentuk satuan struktur yang terpisah satu sama lain, sehingga perlu dilakukan pengaktifan untuk mengubah serbuk menjadi absorben. Karbon bisa diaktifkan melalui proses aktivasi (Kusumawati et al., 2022). Pemilihan dalam proses karbonisasi yang tepat sangat diperlukan karena proses ini mempunyai efek yang signifikan dalam produk akhir.

c. Aktivasi

Aktivasi arang untuk meningkatkan sifat mikrostruktur seperti luas permukaan, porositas, volume pori, dan diameter pori (Malini et al., 2023). Pada prinsipnya proses aktivasi arang dapat dilakukan dengan dua cara yaitu secara fisika atau kimia (Saad et al., 2020). Baku mutu dari AC juga tergantung pada bahan baku yang digunakan, mulai dari bahan pengaktif, cara pengaktifannya, dan suhu

Aktivasi dengan cara fisika dilakukan dengan mengalirkan CO₂, uap air, atau gas N₂ pada suhu 900°C dengan waktu yang telah ditentukan (Manurung et al., 2019). Sedangkan, aktivasi secara kimia dilakukan dengan merendam arang dengan aktivator asam atau basa yang telah ditentukan untuk melarutkan pengotor yang terdapat di pori AC sehingga luas permukaan, ukuran pori lebih besar dan gugus fungsinya terus bertambah, dengan lama aktivasi dan jenis aktivator yang digunakan sangat berpengaruh terhadap kualitas AC yang digunakan (Musa Abubakar Tadda et al., 2016). Aktivasi yang dilakukan menjadikan banyaknya kadar zat terbang (*volatile*) terlepas dari arang yang dapat menyebabkan terbukanya struktur seluler yang tersisa sehingga mengakibatkan terbentuknya pori (Alimah, 2021). Langkah akhir dari pembuatan AC yaitu pencucian untuk menghilangkan kelebihan anorganik (*residu*) dan sisa reaktan (Soonmin & Kabbashi, 2021).

2.3 Agen Aktivator

2.3.1 Aktivator Sintetik

Pada proses pembuatan karbon aktif (AC), salah satu metode yang umum digunakan adalah aktivasi dengan menggunakan aktivator asam sintetik, seperti HCl (Mustafa et al., 2023), $ZnCl_2$ (Pambayun et al., 2013), dan H_2SO_4 (Fatimah et al., 2023). Di antara aktivator tersebut, asam klorida (HCl) merupakan yang paling sering digunakan. HCl, sebagai asam kuat, berfungsi untuk menghilangkan sisa-sisa pengotor yang tidak diinginkan dan meningkatkan porositas karbon aktif yang dihasilkan (Huda et al., 2020). Peran aktivator dalam proses aktivasi arang aktif sangat penting, karena aktivator berfungsi untuk mengubah struktur karbon dari bahan baku menjadi bentuk yang lebih berpori (Sun & Webley, 2010). Aktivator asam, seperti HCl, bekerja dengan cara mengoksidasi dan menghilangkan komponen non-karbon dari bahan baku, sehingga meningkatkan rasio karbon terhadap massa total. Proses ini tidak hanya meningkatkan porositas, tetapi juga memperluas ukuran pori, yang sangat penting untuk meningkatkan kapasitas adsorpsi karbon aktif terhadap berbagai kontaminan (Feng et al., 2020).

Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa penggunaan HCl sebagai aktivator dapat meningkatkan efisiensi pembuatan AC dari berbagai sumber limbah pertanian. Misalnya, penelitian oleh (J. Lestari et al., 2024) menemukan bahwa karbon aktif yang dihasilkan dari ampas kopi menggunakan HCl sebagai aktivator memiliki kapasitas adsorpsi yang lebih tinggi terhadap zat warna dibandingkan dengan aktivator lainnya. Selain itu, penelitian oleh (Verayana et al., 2018) menunjukkan bahwa penggunaan HCl dalam pembuatan AC dari tempurung kelapa menghasilkan karbon aktif dengan porositas yang lebih baik dan kapasitas adsorpsi logam berat yang signifikan.

Penelitian yang dilakukan oleh (Arung et al., 2014), menunjukkan bahwa konsentrasi HCl yang tepat dapat mempengaruhi kualitas karbon aktif (AC) yang dihasilkan. Hasil penelitian tersebut mengindikasikan bahwa penggunaan HCl sebagai aktivator menghasilkan kapasitas adsorpsi yang lebih tinggi dibandingkan dengan aktivator lainnya. Hal ini disebabkan oleh kemampuan HCl dalam menghilangkan pengotor yang dapat menghambat pembentukan pori-pori pada AC (Ambarwati, 2019). Selanjutnya, (Papatungan & Iyabu, 2021) mengungkapkan bahwa HCl sebagai

aktivator untuk memproduksi AC tempurung kelapa dapat secara signifikan dapat digunakan dalam adsorpsi logam timbal. Hasil menunjukkan bahwa aktivator yang digunakan saat aktivasi mempengaruhi pori dan luas permukaan. Hasil AC yang digunakan sebagai uji daya adsorpsi logam timbal (Pb) menunjukkan presentase AC tempurung kelapa dengan aktivator HCl adalah 77,813%, dan arang tempurung kelapa tanpa aktivasi adalah 59,485% (Papatungan & Iyabu, 2021). Teori penggunaan HCl sebagai aktivator berkaitan dengan sifat korosifnya yang dapat menghilangkan sisa abu dan material lain yang tidak diinginkan (Arif et al., 2022). Menurut (Yuningsih et al., 2016) penggunaan HCl dalam proses aktivasi dapat meningkatkan luas permukaan dan volume pori AC, dimana hal tersebut sangat penting untuk meningkatkan kapasitas adsorpsi. Meskipun efektif penggunaannya berdampak negatif pada lingkungan dan kesehatan manusia. Maka dari itu, untuk meningkatkan kualitas lingkungan dan keamanannya, penggunaan aktivator alami seperti JN (*Citrus aurantifolia*) (Ekawati et al., 2023).

2.3.2 Aktivator Alami

JN (*Citrus aurantifolia*) termasuk dalam buah-buahan yang sudah tidak asing lagi di Indonesia. Buah ini mempunyai rasa asam dan pahit, mengandung senyawa kimia yang bermanfaat, seperti asam amino (R. K. Lestari et al., 2018), asam sitrun (Gozali et al., 2023), asam askorbat 27 mg/100 g buah (Ermawati et al., 2014) dan asam sitrat 7-7,5% yang didapatkan dari 100 gram buah (Rochmah et al., 2014). Buah jeruk nipis dapat dilihat pada Gambar II.5.



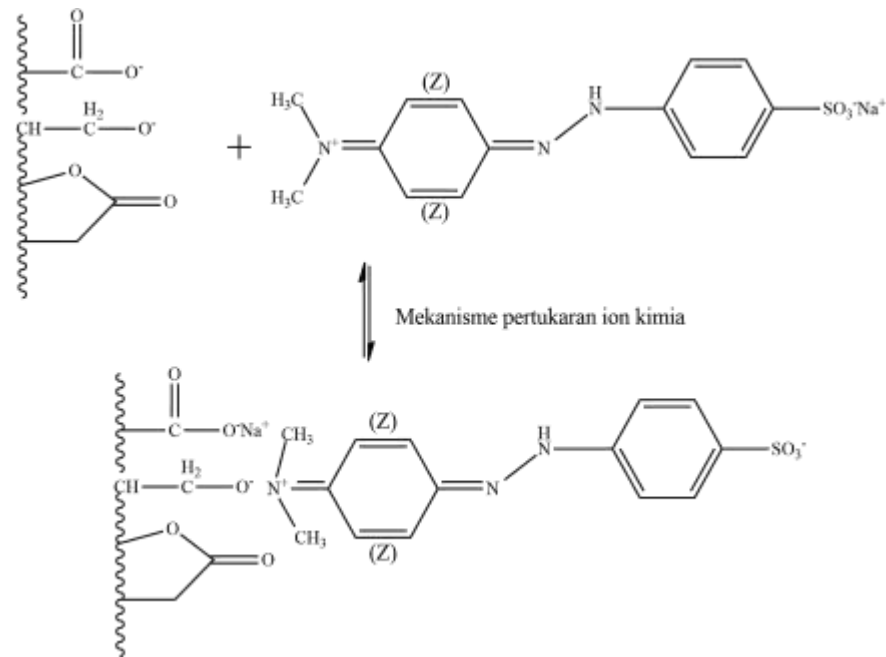
Gambar II. 4 Jeruk Nipis

Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh (Aprilianti, et al., 2023). Penggunaan air JN pada saat pengaktifan arang tempurung kelapa terbukti memiliki diameter pori yang besar daripada arang yang tidak diaktifkan dengan air JN, dimana

zat pengotor telah menguap pada saat pengaktifan sehingga memperbanyak pori yang terbentuk, menyebabkan perubahan pada pori dan termasuk dalam kategori mesopori (Rena Aprilianti, Dera Selviani, Diani Lestari, 2023). Berdasarkan penelitian yang dilakukan Thohir 2023 menggunakan air dari JN dan belimbing wuluh terbukti relevan dan mempunyai presentasi yang baik dalam menurunkan kesadahan dalam air. Hasil yang diperoleh yaitu AC yang diaktivasi menggunakan JN dapat menurunkan kesadahan air 29,05%, dan aktivasi menggunakan belimbing wuluh sebesar 37,50%(Thohir, 2023). Hal ini dapat dijadikan dasar bahwa air perasan JN dapat digunakan sebagai aktivator alam.

2.4 Metil jingga

Metil jingga adalah senyawa organik yang termasuk dalam kelompok indikator pH, yang sering digunakan dalam titrasi asam-basa(Hanie et al., 2023). Senyawa ini memiliki rumus kimia $C_{14}H_{14}N_3NaO_3S$ (Ibrahim et al., 2023). Metil jingga memiliki warna merah pada pH di bawah 3,1 dan berubah menjadi kuning pada pH di atas 4,4 (Al-Odayni et al., 2023). Perubahan warna ini menjadikannya indikator yang sangat berguna dalam berbagai aplikasi, terutama dalam titrasi asam kuat dengan basa lemah(Iwuozor et al., 2021). Adsorpsi metil jingga pada permukaan AC tidak bersifat fisik (Van der Waals), melainkan merupakan interaksi kimia (pertukaran ion). Kemungkinan interaksi antara permukaan AC dan metil jingga ditunjukkan pada Gambar II. 5. pH larutan metil jingga berada di atas pH karbon aktif, sehingga diperkirakan ion H^+ dilepaskan dari permukaan karbon aktif ke dalam larutan. Keberadaan ion H^+ dalam larutan menginduksi muatan positif pada nitrogen terminal metil jingga dan gugus terminal bermuatan positif dalam metil jingga membantu adsorpsi melalui mekanisme pertukaran ion (Pires et al., 2012).



Sumber: (Danish et al., 2013)

Gambar II. 5 Mekanisme adsorpsi metil jingga pada karbon aktif

Selain penggunaannya dalam analisis kimia, Metil jingga juga digunakan dalam industri tekstil dan pewarnaan. Senyawa ini berfungsi sebagai pewarna dalam proses pencelupan kain dan bahan tekstil lainnya (Taquietu et al., 2023). Namun, penggunaan Metil jingga dalam industri ini menimbulkan kekhawatiran terkait dampaknya terhadap lingkungan karena memiliki kelarutan air yang tinggi. Ketika limbah industri yang mengandung Metil jingga dibuang ke perairan, senyawa ini dapat mencemari sumber air dan mempengaruhi kualitas air (Abdel-Aziz et al., 2024). Penelitian oleh (Al-Odayni et al., 2023) menunjukkan bahwa Metil jingga dapat bertahan dalam lingkungan perairan dan berpotensi menyebabkan kerusakan ekosistem akuatik. Dampak dari keberadaan Metil jingga dalam perairan tidak hanya terbatas pada lingkungan, tetapi juga dapat mempengaruhi kesehatan manusia (Ushanandhini et al., 2021). Metil jingga tergolong dalam senyawa berbahaya yang dapat menyebabkan iritasi pada kulit dan saluran pernapasan jika terpapar dalam konsentrasi tinggi. Selain itu, paparan jangka panjang terhadap Metil jingga dapat menyebabkan efek toksik pada organ tubuh, termasuk hati dan ginjal (Alardhi et al., 2023).

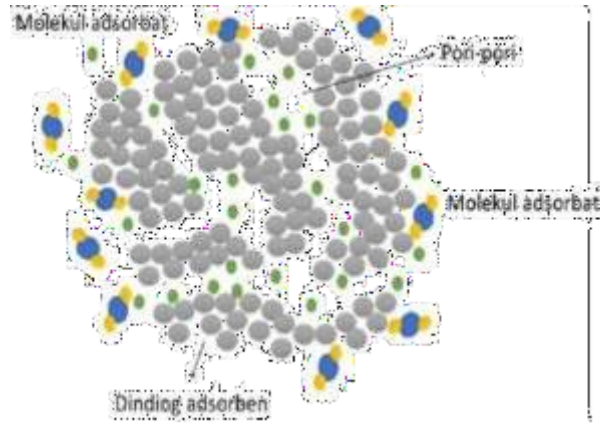
Menurut peraturan Menteri Lingkungan Hidup No.51/MENLH tahun 1995 menetapkan ambang batas baku mutu limbah cair industri maksimal 150 mg/L. Namun, seringkali konsentrasi zat warna dalam limbah industri melebihi batas yang ditetapkan dan hanya sebagian kecil yang dikelola dengan baik. Salah satu zat pencemar yang sering ditemukan dalam limbah cair pewarna sintesis golongan senyawa azo sekitar 60-70%(Hasan et al., 2019)(Ariyanto et al., 2021). Untuk mengatasi pencemaran yang disebabkan oleh Metil jingga di lingkungan, berbagai metode telah dikembangkan, salah satunya adalah metode adsorpsi menggunakan adsorben AC(Thuy et al., 2023). AC memiliki kemampuan adsorpsi yang tinggi terhadap berbagai senyawa organik, termasuk pewarna seperti Metil jingga. Proses adsorpsi ini melibatkan interaksi antara molekul Metil jingga dan permukaan AC, yang mengakibatkan pengurangan konsentrasi Metil jingga dalam larutan(bakar et al., 2020).

Penelitian oleh (Hambisa et al., 2023) menunjukkan bahwa AC yang dihasilkan dari limbah pertanian dapat digunakan secara efektif untuk mengadsorpsi Metil jingga. Hasil terbaik yang dicapai dengan parameter dosis adsorben 0,4 gram, konsentrasi zat warna awal 70 mg/L, waktu kontak 140 menit, pH 8, dan suhu 40°C. Penghapusan zat warna Metil jingga dari air menggunakan adsorben limbah kulit Abchote mencapai penghapusan sebesar 94,47%. Dari hasil menunjukkan bahwa adsorben AC dari limbah pertanian efektif untuk menghilangkan pewarna organik. Spektrofotometer UV-Vis digunakan untuk mengukur spektrum serapan Metil jingga pada panjang gelombang 400 sampai 500 nm. Dalam penelitian yang dilakukan oleh (Fraditasari et al., 2015) panjang gelombang maksimum UV-Vis Metil Orange pada larutan 462,3 nm,

2.5 Adsorpsi

Baku mutu dan kualitas AC yang baik berdasarkan pada target adsorpsi (Erawati & Fernando, 2018). Adsorpsi merupakan peristiwa fisik atau kimia pada permukaan yang dipengaruhi oleh suatu reaksi kimia antara adsorben dan adsorbat, sedangkan adsorbat adalah zat yang diserap, adsorben adalah zat padat yang dapat menyerap komponen tertentu dari suatu fase fluida. Adsorben umumnya menggunakan bahan yang mempunyai pori-pori, sehingga proses adsorpsi terjadi

di pori-pori atau pada letak tertentu di dalam partikel tersebut. Pada umumnya, pori-pori yang ada pada adsorben sangat kecil, sehingga luas permukaan dalam menjadi lebih besar daripada permukaan luarnya (Purwitasari et al., 2022).



Sumber: (Kosim et al., 2022)

Gambar II. 6 Proses Adsorpsi

Pada Gambar II. 6 Tersebut menggambarkan proses adsorpsi, yaitu penyerapan molekul adsorbat oleh permukaan padatan yang disebut adsorben. Pada proses ini, molekul-molekul adsorbat (ditunjukkan dengan warna berbeda) menempel pada dinding pori-pori adsorben akibat adanya gaya tarik fisik atau interaksi kimia. Pori-pori adsorben berperan penting karena semakin besar jumlah dan luas permukaannya, semakin banyak molekul adsorbat yang dapat tertangkap. Dinding adsorben menyediakan situs aktif untuk interaksi, sehingga adsorpsi dapat berlangsung secara efektif. Mekanisme ini menjadi dasar kinerja bahan berpori seperti AC dalam menghilangkan polutan dari larutan atau gas (Anggriawan et al., 2019).

Berdasarkan kekuatan dalam berinteraksi, adsorpsi dapat dibedakan menjadi 2, adsorpsi fisika dan adsorpsi kimia:

a. Adsorpsi fisika

Adsorpsi fisika terjadi bila gaya intermolekular yang lemah, seperti gaya Van der Waals yang menyebabkan molekul adsorbat menempel pada permukaan adsorben. Gaya tarik-menarik ini lebih lemah dibandingkan gaya tarik antara molekul yang kuat (ikatan kimia) dalam adsorpsi kimia

(Wuntu & Kamu, 1992) (Muzarpar & Leman, 2021). Adsorpsi jenis ini tidak memiliki sifat *site specific*, dimana molekul yang telah teradsorpsi bebas menutupi seluruh permukaan padatan (Sanjaya & Agustine, 2015). Kinetika adsorpsi dilakukan untuk memahami tentang bagaimana mekanisme dan laju adsorpsi. Model yang digunakan kinetika adsorpsi adalah pseudo orde pertama dan pseudo orde kedua (Nitsae et al., 2021).

b. Adsorpsi kimia

Adsorpsi kimia terjadi karena adanya pertukaran atau pemakaian bersama elektron antara molekul adsorbat dengan permukaan adsorben sehingga terjadi reaksi kimia. Ikatan yang terbentuk antara adsorbat dengan adsorben adalah ikatan kimia dan ikatan itu lebih baik daripada adsorpsi fisika.

Dalam proses adsorpsi dipengaruhi oleh beberapa faktor yang dapat mempengaruhi laju proses adsorpsi dan banyaknya adsorbat yang dapat dijerap (Syauqiah et al., 2011). Adapun faktor-faktor yang mempengaruhi proses adsorpsi sebagai berikut;

a) Waktu kontak dan pengadukan

Waktu kontak akan mempengaruhi banyaknya adsorbat yang terserap, disebabkan perbedaan kemampuan adsorben dalam menyerap adsorbat berbeda-beda. Kondisi *equilibrium* akan dicapai pada waktu yang tidak lebih dari 150 menit, setelah waktu itu jumlah adsorbat yang terserap tidak signifikan berubah terhadap waktu. Waktu kontak dan pengadukan yang lebih lama akan memberikan waktu kontak yang lebih lama untuk interaksi antara dengan adsorbat

b) Luas permukaan adsorben

Dengan meningkatkan luas permukaan adsorben maka proses adsorpsi akan semakin meningkat. Ukuran pori-pori adsorben akan mempengaruhi luas permukaan, dimana semakin besar pori-pori pada adsorben maka semakin meningkat luas permukaan adsorben.

c) Massa adsorbent

Semakin banyak jumlah adsorben maka permukaan adsorben semakin

besar. Semakin besar massa yang digunakan maka semakin tinggi efisiensi penyerapan adsorbat.

d) Konsentrasi adsorbat

Semakin tinggi konsentrasi adsorbat maka semakin meningkat proses adsorpsi. Adsorpsi akan tetap jika terjadi kesetimbangan antara konsentrasi adsorbat yang diserap dengan konsentrasi adsorben yang tersisa dalam larutan.

e) Ukuran molekul adsorbat

Ukuran molekul adsorbat menentukan batas kemampuannya melewati ukuran pori adsorben. Laju adsorpsi menurun dengan bertambahnya ukuran partikel adsorbat.

f) Suhu

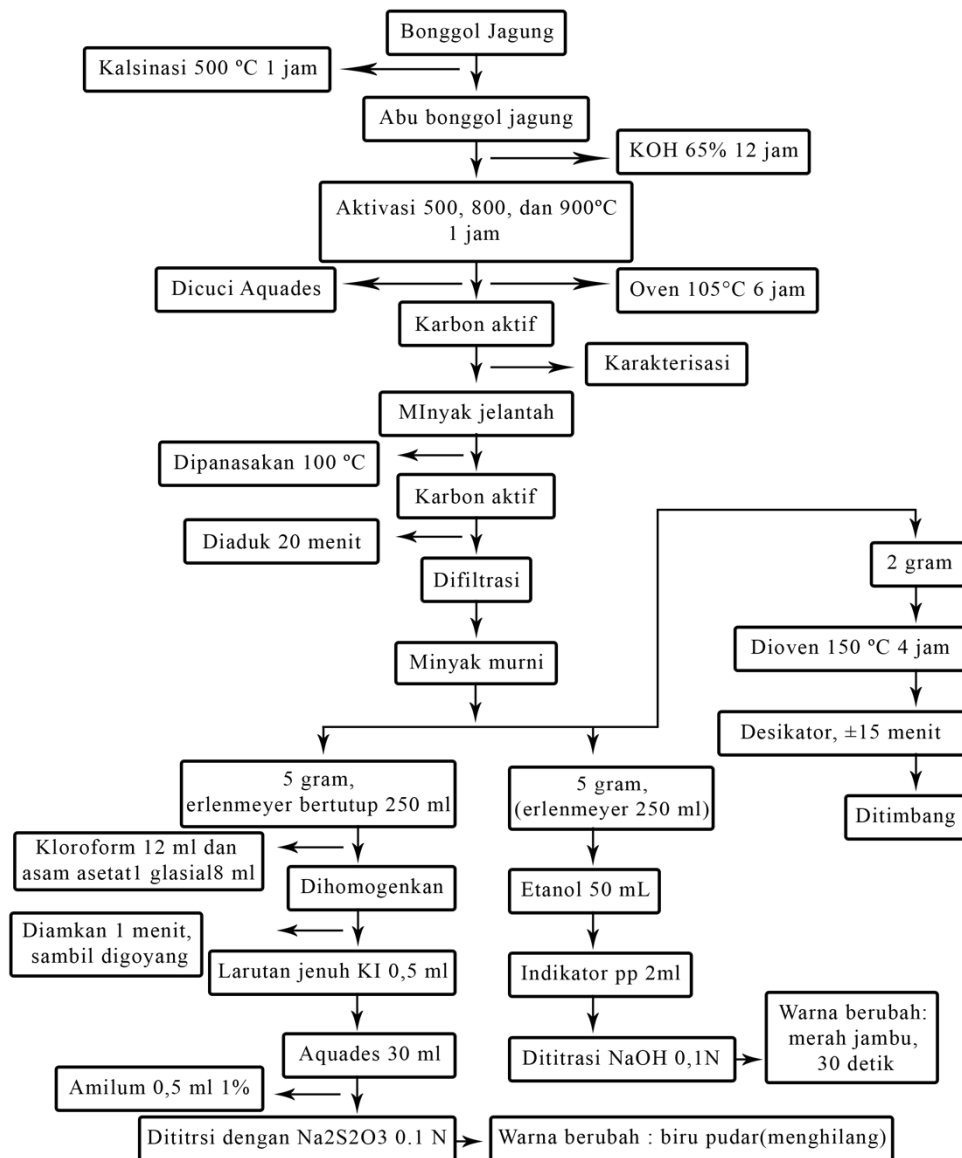
Suhu dapat mempengaruhi laju adsorpsi. Laju adsorpsi akan meningkat dengan meningkatnya suhu, begitu juga sebaliknya. Proses adsorpsi merupakan proses eksotermik, maka derajat adsorpsi akan meningkat saat suhu rendah dan turun pada suhu tinggi.

g) pH

Adsorpsi asam organik lebih efisien pada pH rendah karena dalam kondisi asam, molekul asam organik cenderung tidak terionisasi dan bermuatan netral. Sebaliknya, basa organik lebih mudah teradsorpsi pada pH tinggi (basa) karena pada pH tersebut, basa organik juga cenderung tidak terionisasi dan bermuatan netral. Singkatnya, adsorpsi lebih efektif saat molekul adsorbat berada dalam bentuk netral, yang meminimalkan tolakan elektrostatik dan memfasilitasi interaksi dengan permukaan adsorben.

Menurut Badan Perlindungan Lingkungan AS (R. Yousef et al., 2020) adsorpsi AC merupakan salah satu teknologi terbaik dalam pengendalian kontaminan-kontaminan dalam air. AC digunakan sebagai adsorben serbaguna (Purwanti et al., 2021) karena memiliki luas permukaan yang besar serta memiliki daya serap yang baik (Lubis et al., 2021). Daya adsorpsi sangat tergantung pada karakteristik AC seperti kadar abu, kadar air. AC adalah bahan karbon amorf dengan luas permukaan besar 800 m²/g dan porositas permukaannya tinggi (Liew et al., 2018).

2.6 Kerangka Konsep Penelitian



BAB III METODE PENELITIAN

3.1 Alat dan Bahan

3.1.1 Alat

Alat yang digunakan pada penelitian ini: gelas beaker pyrex, batang pengaduk pyrex, nerca analitik Sartorius 0,0001 g, gelas arloji pyrex, pipet ukur pyrex, corong, ayakan 50 mesh, oven blinder, spatula plastik, pipet tetes, ayakan 80 mesh, magnetic stirrer IKA, furnace Nabertherm, plastic klip, botol semprot, ball pipet, kertas saring Funnel Use, sarung tangan lateks, Indikator pH universal, FTIR (*Fourier Transform Infrared*) dan spektrofotometer UV- Vis Evolution One.

3.1.2 Bahan

Bahan yang digunakan pada penelitian ini: limbah bonggol jagung, asam Klorida (HCl) 98% *analytical grade* dari Sigma-Aldrich, asam sitrat dari SAP Chemicals, asam askorbat *analytical grade*, jeruk nipis, Larutan meti jingga dari Rofa laboratorium, dan akuadest (H₂O) dari OneMed

3.2 Variasi Variabel

- a) Variasi jenis aktivator dalam proses aktivasi (HCl 0,01 M, jeruk nipis pH 2, asam askorbat 27 mg, asam sitrat 7,5%)
- b) Variasi massa AC untuk penghilang metil orange setiap jenis aktivator dan rasio volume aktivator 0,4gr, 0,6gr, dan 0,8 gr
- c) Variasi waktu kontak yang diperoleh dari variasi dosis AC optimal 15 menit, 30 menit, dan 45 menit.

3.3 Prosedur Penelitian

3.3.1 Pembuatan AC dari Bonggol jagung

3.3.1.1 Pencucian dan Pengeringan

Limbah bonggol jagung yang diperoleh dicuci untuk menghilangkan kotoran yang masih terbawa pada limbah tersebut. Bonggol jagung kemudian dipotong kecil-kecil kemudian dikeringkan

pada suhu 100°C didalam oven selama 1 jam untuk terbebas dari kandungan air sebelum karbonisasi (Drasih et al., 2024).

3.3.1.2 Karbonisasi

Bonggol jagung yang telah dibersihkan kemudian dikeringkan. Selanjutnya dipanaskan dalam furnace dengan suhu 400°C selama 3 jam untuk menghasilkan arang. Arang hasil dipanaskan kemudian dihaluskan sehingga jadi serbuk. Serbuk yang diperoleh selanjutnya diayak dengan ayakan 80 mesh (Alfiany & Bahri, 2013).

3.3.1.3 Aktivasi

Aktivasi AC sesuai dengan metode yang digunakan oleh (Thohir, 2023) yang telah dimodifikasi. Serbuk arang hasil karbonisasi ditimbang 10 gr, Kemudian direndam dalam aktivator HCl 0,01 M sebanyak 50 mL seselama 24 jam. Kemudian saring dan cuci dengan akuadest sampai pH netral. Arang yang dihasilkan kemudian dikeringkan dalam oven pada suhu 110°C selama 1 jam, selanjutnya dinginkan dalam desikator. Dilakukan pengulangan prosedur aktivasi dengan mengganti aktivator menjadi Jeruk nipis, asam sitrat, asam askorbat. Untuk membandingkan pengaruh jenis aktivator terhadap karakteristik arang aktif yang dihasilkan.

3.3.1.4 Karakterisasi

Sampel karbon dan AC bonggol jagung setelah proses aktivasi dan pengeringan, selanjutnya dianalisis menggunakan FTIR (*Fourier Transform Infrared*).

3.3.2 Adsorpsi Metil Jingga menggunakan AC

3.3.2.1 Pembuatan larutan induk Metil Orange 1000 ppm

1 gram metil jingga di masukkan ke dalam labu ukur 1000 mL, kemudian ditambahkan dengan akuadest sampai garis tanda batas dan dihomogenkan.

3.3.2.2 Pembuatan Larutan standar 100 ppm

Dimasukkan 10 mL larutan induk metil jingga ke dalam labu ukur 100 mL, kemudian dilarutkan menggunakan akuades sampai tanda batas dan dihomogenkan.

3.3.2.3 Pembuatan kurva standar

Sebelum pembuatan kurva standar larutan metil orange, perlu dilakukan penentuan panjang gelombang maksimum (λ) dengan menyiapkan larutan stok 100 ppm dan mengukur pada panjang gelombang (λ) antara 400-500 nm menggunakan spektrofotometer UV-Vis. Kemudian dilanjutkan dengan memvariasikan larutan metil orange pada berbagai konsentrasi 9, 10, 14, 17, 18 ppm yang didapatkan dari pengenceran larutan induk 100 ppm metil orange, sebanyak 10 mL kemudian diukur serapannya. Pada setiap perubahan konsentrasi menggunakan spektrofotometer UV-Vis. Berdasarkan data serapan yang diperoleh, dihasilkan kurva standar yang memperlihatkan hubungan antara serapan (sumbu y) dan konsentrasi (sumbu x).

3.3.3 Uji Adsorpsi

3.3.3.1 Variasi Massa Optimum AC

Variasi dosis dilakukan dengan membedakan massa AC bonggol jagung dengan masing-masing variasi aktivator yaitu 0,4; 0,6; dan 0,8 gram. Kemudian ditambahkan 25 mL larutan Metil jingga dengan konsentrasi 25 ppm dan diaduk dengan magnetic stirer dengan kecepatan 150 rpm selama 30 menit. Hasil pengadukan selanjutnya residu padat dipisahkan dari filtrat. Kemudian, filtrat yang didapat diukur menggunakan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang 463 nm untuk mengetahui konsentrasi larutan standar metil jingga yang teradsorpsi.

3.3.3.2 Penentuan Waktu Kontak Optimum

Setelah diperoleh massa AC dengan dosis optimal ditambahkan 50 mL larutan Metil jingga dengan konsentrasi 25 ppm. Kemudian, diaduk dengan kecepatan pengadukan 150 rpm dan waktu kontak diubah menjadi 10, 20, dan 30 menit. Hasil pengadukan disaring dengan kertas saring. Kemudian filtrat yang diperoleh diukur menggunakan spektrofotometer UV-Vis untuk mengetahui konsentrasi larutan standar metil jingga yang teradsorpsi.

Dari beberapa perlakuan yang bervariasi, diukur kapasitas adsorpsi (q_e) dan efisiensi adsorpsi (%). Besarnya Metil jingga yang diserap oleh setiap AC bonggol jagung dengan berbagai aktivator dapat dihitung dengan persamaan kapasitas adsorpsi sebagai berikut (Rattanapan et al., 2017):

$$q_e = \frac{C_0 \times C_e}{M_a} \times v \dots \dots \dots (III.1)$$

Keterangan:

q_e = Efektivitas adsorpsi (mg/g)

C_0 = Konsentrasi Metil jingga (ppm)

C_e = Konsentrasi Metil jingga dari regresi linier (mg/L)

M_a = Massa adsorben (gr)

V = Volume (L)

Untuk menghitung persen efisiensi adsorpsi (%EA) menggunakan persamaan:

$$\%EA = \frac{C_0 - C_e}{C_0} \times 100\% \dots \dots \dots (III.2)$$

Keterangan:

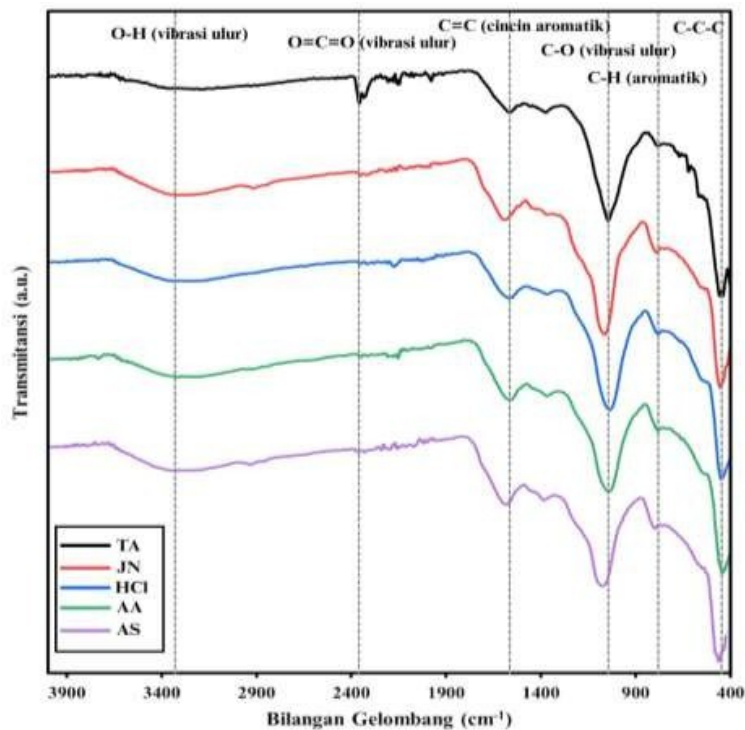
C_0 = Konsentrasi Awal Metil Jingga (ppm)

C_e = Konsentrasi Akhir Metil jingga (mg/L)

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Analisis Gugus Fungsi Menggunakan spektrofotometer infra merah (FTIR)

Karakterisasi menggunakan FTIR dilakukan untuk mengidentifikasi komponen kimia yang terkandung dalam AC. Hasil pengujian berupa spektra FTIR yang menampilkan persentase transmitan pada sumbu Y dan bilangan gelombang pada sumbu X. Nilai transmitan pada spektra menunjukkan adanya perbedaan akibat variasi aktivator yang digunakan, sedangkan bilangan gelombang merepresentasikan jenis vibrasi struktur kimia yang terdapat dalam sampel. Analisis gugus fungsi dilakukan dengan mencocokkan puncak-puncak serapan yang muncul pada spektra, sehingga diperoleh pola grafik seperti yang ditunjukkan pada gambar berikut.



Gambar 4. 1 Grafik Spektra FTIR AC dengan variasi aktivator

Pada Gambar 4.1 terlihat adanya pita serapan di sekitar bilangan gelombang 3400 cm^{-1} yang menunjukkan vibrasi ulur gugus hidroksi (O–H). Gugus ini merupakan ciri khas komponen seperti selulosa, hemiselulosa, maupun air yang teradsorpsi, dan terdeteksi pada seluruh sampel, baik arang tanpa aktivasi (TA) maupun arang yang telah diaktivasi (Alwardah et al., 2025). Selain itu, terdapat pula pita serapan di sekitar 2350 cm^{-1} yang berkaitan dengan vibrasi gugus karbonil (O=C=O) (Salim et al., 2021). Intensitas pita ini tampak sangat kuat pada arang tanpa aktivasi (TA), yang diduga berasal dari sisa gugus oksigen permukaan dari lignin, selulosa, dan hemiselulosa yang belum sepenuhnya terdegradasi selama proses karbonisasi (Salim et al., 2021). Namun, pita tersebut tidak lagi terdeteksi pada arang aktif yang diaktivasi menggunakan jeruk nipis (JN), HCl, asam asetat (AA), maupun asam sitrat (AS). Hilangnya pita ini menunjukkan bahwa proses aktivasi kimia efektif dalam mengurangi atau menghilangkan sebagian besar gugus oksigen di permukaan karbon.

Pita serapan lain yang muncul di sekitar 1600 cm^{-1} diidentifikasi sebagai regangan C=C pada cincin aromatik, dan teramati pada semua sampel arang, baik tanpa aktivasi maupun teraktivasi (Pehlivan, 2018). Keberadaan pita ini berkaitan dengan dominasi lignin yang bersifat lebih tahan terhadap panas (Bakti et al., 2023). Cao et al. (2024) juga menjelaskan bahwa lignin memiliki struktur aromatik yang stabil dan berperan sebagai kerangka karbon (carbon backbone). Selain itu, pita serapan pada bilangan gelombang sekitar $1040\text{--}1060\text{ cm}^{-1}$ yang dikaitkan dengan vibrasi ulur C–O (Song et al., 2013) masih terdeteksi. Hal ini menunjukkan bahwa masih terdapat sisa gugus oksigen permukaan yang belum sepenuhnya terdegradasi. Temuan ini sejalan dengan laporan Song (2013) yang juga mengamati pita C–O pada arang aktif berbahan dasar bongkol jagung.

Vibrasi tekuk C–H aromatik juga teridentifikasi pada bilangan gelombang sekitar 780 cm^{-1} . Pita ini menandakan adanya struktur aromatik, seperti cincin benzena, yang merupakan karakteristik umum arang aktif (Islam et al., 2016). Selain itu, pita serapan di sekitar 440 cm^{-1} yang muncul pada semua sampel menunjukkan adanya vibrasi tekuk C–C (Sathiyamoorthi et al., 2024). Keberadaan pita ini mengindikasikan bahwa kerangka karbon aromatik tetap stabil meskipun telah melalui proses karbonisasi dan aktivasi.

Secara keseluruhan, spektra FTIR pada Gambar IV.1 memperlihatkan bahwa arang aktif berbahan dasar tongkol jagung, baik tanpa aktivasi maupun yang diaktivasi dengan berbagai jenis aktivator, masih mempertahankan struktur aromatik yang stabil. Di sisi lain, hilangnya beberapa pita serapan tertentu menegaskan bahwa proses aktivasi kimia berhasil mengurangi atau menghilangkan gugus oksigen permukaan, sehingga berkontribusi pada perubahan sifat kimia arang aktif yang dihasilkan.

4.2 Proses Adsorpsi

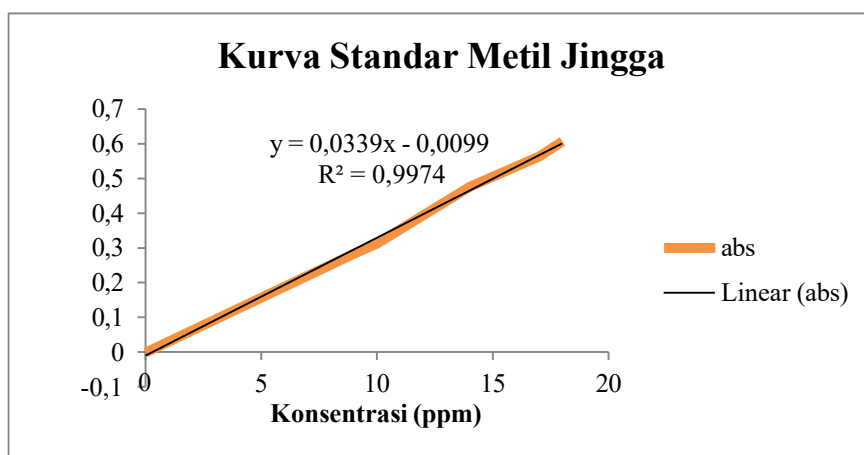
Analisa adsorpsi digunakan dalam menurunkan konsentrasi metil jingga dikarenakan mudah, murah, dan efektivitasnya tinggi. Pada proses adsorpsi, arang aktif dari berbagai aktivator dicampurkan dengan larutan metil jingga dengan konsentrasi 25 ppm. Proses selanjutnya yaitu dilakukan pengadukan dengan kecepatan 150 rpm dan kemudian disaring sehingga terjadi pemisahan antara filtrat dan residu. Filtrat yang dihasilkan kemudian diukur menggunakan spektrofotometer UV-Vis. Penelitian ini variabel tetap yang digunakan adalah konsentrasi aktivator, konsentrasi adsorbat, kecepatan pengadukan, waktu aktivasi, dan pH aktivasi. Sedangkan variabel bebasnya adalah variasi aktivator, massa adsorben, dan variasi waktu kontak

4.2.1 Panjang Gelombang Maksimum Metil Jingga

Secara kualitatif, konsentrasi metil jingga dapat diamati melalui perubahan intensitas warnanya. Selama proses adsorpsi berlangsung,

warna larutan akan semakin memudar seiring berkurangnya konsentrasi zat warna yang teradsorpsi oleh adsorben. Secara kuantitatif, penentuan konsentrasi dilakukan menggunakan spektrofotometer UV-Vis pada rentang panjang gelombang 300–600 nm. Berdasarkan hasil pengukuran, metil jingga menunjukkan panjang gelombang maksimum (λ_{maks}) pada 463 nm, yang kemudian digunakan sebagai acuan dalam analisis konsentrasi selanjutnya.

4.2.2 Pembuatan kurva standar metil jingga



Gambar 4. 2 Grafik Kurva Standar Metil Jingga

Tahap berikutnya adalah pembuatan kurva standar larutan metil jingga dengan variasi konsentrasi 9, 10, 14, 17, dan 18 ppm. Masing-masing larutan diukur nilai absorbansinya pada panjang gelombang maksimum 463 nm. Kurva standar ini disusun sebagai acuan untuk menentukan hubungan antara nilai absorbansi dan konsentrasi larutan. Hubungan tersebut menunjukkan bahwa absorbansi berbanding lurus dengan konsentrasi, sedangkan transmitansi berbanding terbalik. Dengan kata lain, semakin tinggi nilai absorbansi yang terukur, maka semakin besar konsentrasi analit dalam larutan, dan semakin sedikit cahaya yang diteruskan (Ngapa & Ika, 2020). Nilai absorbansi yang diperoleh kemudian diplot terhadap konsentrasi larutan sehingga dihasilkan kurva standar, sebagaimana ditunjukkan pada Grafik dalam Gambar 4.2.

Pada kurva standar yang diperoleh, sumbu X merepresentasikan konsentrasi larutan, sedangkan sumbu Y menunjukkan nilai absorbansi yang diukur pada panjang gelombang maksimum 463 nm. Berdasarkan hasil plot tersebut, diperoleh persamaan regresi linier $y = 0,0339x - 0,0099$ dengan nilai koefisien determinasi $R^2 = 0,9974$. Nilai R^2 yang sangat mendekati 1 menunjukkan bahwa model regresi linier yang dihasilkan mampu menjelaskan hampir seluruh variasi data, sehingga hubungan antara absorbansi dan konsentrasi dapat dikatakan sangat kuat. Dengan demikian, persamaan regresi ini layak digunakan sebagai dasar dalam menentukan konsentrasi larutan analit, baik sebelum maupun setelah proses adsorpsi berlangsung (Iwuozor et al., 2021).

4.2.3 Pengaruh Jenis Aktivator terhadap Massa dan Waktu Kontak Adsorpsi

Aktivasi kimia merupakan tahapan krusial dalam pembuatan arang aktif (AC), karena pada tahap ini senyawa kimia tertentu digunakan untuk memodifikasi struktur biomassa, sekaligus mengembangkan pori-pori dan membentuk gugus fungsional aktif di permukaan karbon. Keberhasilan proses ini sangat dipengaruhi oleh jenis aktivator yang digunakan serta pH larutan aktivasi (Tadda et al., 2016; Soonmin & Kabbashi, 2021). Dalam konteks aktivasi, pH menunjukkan tingkat keasaman larutan. Semakin rendah nilai pH (semakin asam), maka sifatnya cenderung lebih agresif dalam merusak atau mengubah struktur lignoselulosa—yang terdiri atas lignin, selulosa, dan hemiselulosa—penyusun utama biomassa (Das et al., 2023). Proses inilah yang berperan dalam membuka struktur dan membentuk pori-pori baru pada arang aktif. Pada penelitian ini digunakan empat jenis aktivator, yaitu asam klorida (HCl), jeruk nipis (JN), asam sitrat (AS), dan asam askorbat (AA). Masing-masing aktivator memiliki karakteristik dan tingkat reaktivitas yang berbeda, sehingga memberikan pengaruh yang berbeda pula terhadap pembentukan struktur pori dan efisiensi adsorpsi metil jingga. Karakteristik masing-masing aktivator tersebut ditunjukkan pada tabel berikut.

Tabel 4.1 1 Konsentrasi dan pH aktivator

Aktivator	Volume	PH (mL)
HCl	50	2
Jeruk Nipis	50	2
Asam Sitrat	50	1
Asam Askorbat	50	4

Pengaruh masing-masing aktivator terhadap mekanisme adsorpsi metil jingga pada arang aktif (AC) bonggol jagung dapat dilihat pada Gambar II.5. Secara umum, tahap awal interaksi antara aktivator dan permukaan karbon aktif terjadi pada atom oksigen yang terdapat dalam gugus fungsional seperti $-OH$, $-COOH$, dan gugus karbonil. Atom oksigen memiliki pasangan elektron bebas sehingga mudah berinteraksi dengan spesies asam dari aktivator (Chen et al., 2020).

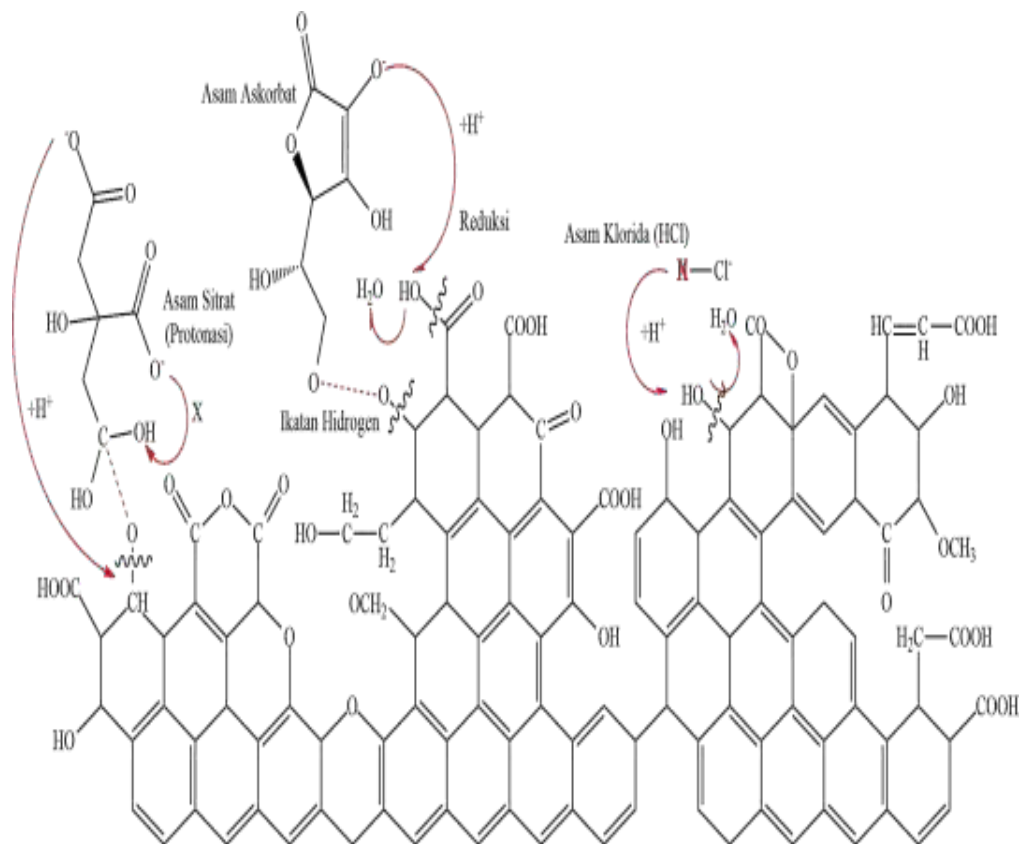
Berdasarkan teori HSAB (Hard-Soft Acid-Base), oksigen termasuk dalam kategori basa keras karena memiliki elektronegativitas tinggi dan sukar dipolarisasi. Oleh karena itu, oksigen memiliki kecenderungan berinteraksi kuat dengan asam keras, seperti ion H^+ dari HCl atau asam sitrat (Alfarra et al., 2004; Koch, 2005). Interaksi ini dapat memicu serangan proton pada atom oksigen, yang selanjutnya menyebabkan pemutusan ikatan $C-O$ atau $C=O$ dan membentuk radikal bebas. Kondisi tersebut membuat permukaan karbon menjadi lebih reaktif (Hartung et al., 2002).

Aktivator seperti HCl dan asam sitrat sintetik, yang memiliki pH sangat rendah (sekitar 1–2), mampu meningkatkan derajat protonasi permukaan karbon. Hal ini memperkuat mekanisme pertukaran ion dengan gugus sulfonat bermuatan negatif pada metil jingga (Al-Degs et al., 2008). Jeruk nipis, meskipun memiliki pH yang relatif sama (sekitar 2), menawarkan keunggulan tambahan karena mengandung asam sitrat alami, asam askorbat, serta flavonoid. Senyawa-senyawa ini dapat meningkatkan

polaritas permukaan karbon aktif dan memperluas peluang terjadinya interaksi elektrostatik maupun ikatan hidrogen (Ekawati et al., 2023).

Sementara itu, aktivator asam askorbat bekerja pada pH yang lebih tinggi (sekitar 4). Aktivasi dengan asam ini cenderung menghasilkan gugus $-OH$ dan $-C=O$ dari struktur cincin lakton, yang mendukung pembentukan ikatan hidrogen serta interaksi $\pi-\pi$. Namun, karena tingkat protonasinya lebih rendah dibandingkan aktivator dengan pH sangat asam, mekanisme elektrostatik yang terjadi juga relatif lebih lemah.

Secara keseluruhan, perbedaan sifat kimia dan pH masing-masing aktivator sangat menentukan jenis interaksi yang dominan—baik elektrostatik, ikatan hidrogen, maupun interaksi $\pi-\pi$ —serta berpengaruh langsung terhadap efektivitas adsorpsi metil jingga oleh arang aktif bonggol jagung.



Gambar 4. 3 Interaksi antara Jenis Aktivator dengan Permukaan Karbon Aktif

Berdasarkan hasil yang diperoleh dari penentuan massa optimum adsorpsi metil jingga oleh AC dapat dilihat pada Tabel 4.2 sebagai berikut:

Tabel 4. 2 Pengaruh Massa Arang Aktif Terhadap Adsorpsi Metil Jingga

Sampel	Massa (g)	Absorbansi	Konsentrasi Awal(Co) (mg/L)	Konsentrasi Sisa(Ce) (mg/L)	Kapasitas Adsorpsi (Qe) (mg/g)
HC	0,4	0,606	25,377	17,584	0,974
	0,6	0,39	25,377	11,212	1,180
	0,8	0,384	25,377	11,035	0,896
JN	0,4	0,486	25,377	14,044	1,417
	0,6	0,427	25,377	12,304	1,089
	0,8	0,2015	25,377	5,652	1,233
AS	0,4	0,6975	25,377	20,283	0,637
	0,6	0,673	25,377	19,560	0,485
	0,8	0,4985	25,377	14,413	0,685
AA	0,4	0,364	25,377	10,445	1,866
	0,6	0,296	25,377	8,440	1,411
	0,8	0,2765	25,377	7,864	1,095

Tabel 4. 3 Pengaruh Waktu Kontak Terhadap Adsorpsi Metil Jingga

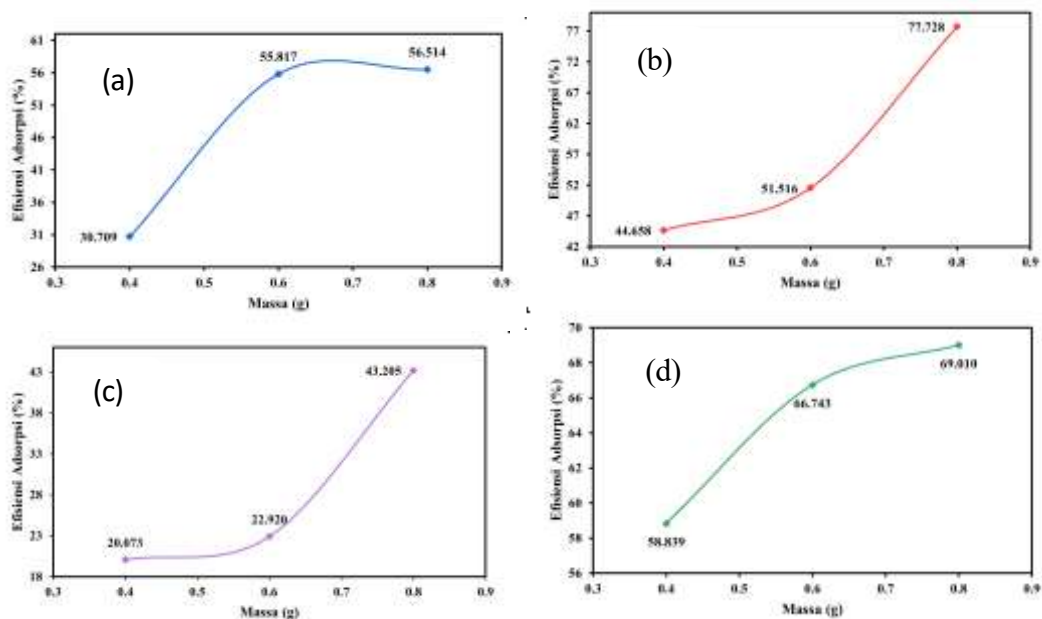
Sampel	Waktu (menit)	Abs	Massa (g)	Konsentrasi Awal(Co) (mg/L)	Konsentrasi Sisa(Ce) (mg/L)	Kapasitas Adsorpsi (Qe) (mg/g)
HC	10	0,4775	0,8	25,377	13,794	0,724
	20	0,438	0,8	25,377	12,628	0,797
	30	0,384	0,8	25,377	11,035	0,896
	40	0,3785	0,8	25,377	10,873	0,906
JN	10	0,343	0,8	25,377	9,826	0,972
	20	0,2525	0,8	25,377	7,156	1,139
	30	0,202	0,8	25,377	5,667	1,232
	40	0,1545	0,8	25,377	4,265	1,319
AS	10	0,5485	0,8	25,377	15,888	0,593
	20	0,528	0,8	25,377	15,283	0,631
	30	0,4985	0,8	25,377	14,413	0,685
	40	0,453	0,8	25,377	13,071	0,769
AA	10	0,5625	0,8	25,377	16,301	0,567
	20	0,524	0,8	25,377	15,165	0,638
	30	0,276	0,8	25,377	7,850	1,095
	40	0,246	0,8	25,377	6,965	1,151

Berdasarkan hasil yang diperoleh dari penentu waktu kontak optimum adsorpsi metil jingga oleh AC bonggol jagung dapat dilihat pada tabel 4.3.

4.3 Pengaruh massa dan waktu kontak terhadap adsorpsi metil jingga

Massa arang aktif (AC) yang digunakan dalam proses adsorpsi divariasikan sebesar 0,4 gram, 0,6 gram, dan 0,8 gram. Rentang ini dipilih dengan mempertimbangkan kondisi sistem batch skala laboratorium. Penggunaan massa yang terlalu kecil ($<0,4$ g) dikhawatirkan menghasilkan kapasitas adsorpsi yang rendah sehingga perubahan konsentrasi sulit teramati secara signifikan. Sebaliknya, penggunaan massa yang terlalu besar ($>0,8$ g) berpotensi menimbulkan ketidakseimbangan antara jumlah adsorben dan konsentrasi larutan, serta kurang efisien dari segi penggunaan bahan.

Hasil pengaruh variasi massa arang aktif terhadap adsorpsi metil jingga disajikan pada Tabel 4.3, sedangkan efektivitas proses adsorpsinya dapat diamati lebih jelas pada Grafik 4.4.



Gambar 4. 4 Grafik Massa AC Teraktivasi (a) HCl (b) JN (c) AS (d) AA

Berdasarkan Tabel 4.2 dan Gambar 4.3, pada massa optimum 0,8 gram urutan efektivitas adsorpsi metil jingga adalah **JN > AA > HCl > AS**. Aktivator jeruk nipis (JN) menunjukkan kinerja terbaik dengan efektivitas mencapai 77,728%. Keunggulan ini tidak hanya disebabkan oleh pH yang asam (± 2), tetapi juga karena kandungan alaminya seperti asam sitrat, asam askorbat, dan flavonoid yang bekerja sinergis memperkaya gugus fungsional $-OH$ dan $-COOH$ di permukaan karbon. Kombinasi ini menghasilkan struktur pori yang stabil dan situs aktif yang lebih sesuai untuk mengadsorpsi metil jingga.

Asam askorbat (AA) menempati posisi kedua dengan efektivitas 69,010%. Meskipun pH-nya lebih tinggi (± 4), sifatnya sebagai agen reduktor mampu memodifikasi gugus fungsional permukaan tanpa merusak struktur pori secara berlebihan. Hasilnya, permukaan karbon menjadi lebih polar dan tetap efektif menarik molekul metil jingga.

Aktivasi menggunakan HCl menunjukkan efektivitas yang lebih rendah dibandingkan JN dan AA. Sebagai asam anorganik, HCl bekerja agresif melalui demineralisasi, namun pada konsentrasi 0,01 M dalam penelitian ini, pembentukan pori dan luas permukaan kemungkinan belum optimal. Meski demikian, kinerjanya masih lebih baik daripada asam sitrat (AS).

Asam sitrat (AS) justru memberikan efektivitas terendah (maksimum 43,205%) walaupun memiliki pH paling asam (± 1). Sifat organiknya kurang efektif dalam membuka pori secara signifikan dan berpotensi meninggalkan residu yang menutupi permukaan karbon. Selain itu, permukaan yang terlalu asam dapat menimbulkan gaya tolak-menolak dengan metil jingga yang bersifat anionik, sehingga menurunkan efisiensi adsorpsi.

Secara umum, peningkatan massa adsorben meningkatkan efektivitas adsorpsi karena jumlah pori dan luas permukaan aktif bertambah. Namun, setelah mencapai titik tertentu, peningkatan tersebut cenderung melambat akibat kondisi jenuh. Hasil ini menegaskan bahwa

jenis aktivator sangat menentukan kualitas arang aktif yang dihasilkan. Dalam penelitian ini, aktivator jeruk nipis menghasilkan karakter permukaan yang paling sesuai untuk adsorpsi metil jingga dibandingkan HCl, AS, maupun AA.

Massa adsorben optimum sebesar 0,8 gram yang diperoleh dari uji variasi massa selanjutnya digunakan dalam pengujian pengaruh waktu kontak. Pengujian ini bertujuan untuk menentukan lama waktu yang dibutuhkan hingga tercapai kesetimbangan adsorpsi metil jingga oleh arang aktif (AC) bonggol jagung. Secara umum, waktu kontak merupakan parameter penting dalam proses adsorpsi karena berkaitan langsung dengan laju penyerapan zat warna oleh adsorben (Arif et al., 2019). Pada tahap awal, proses adsorpsi biasanya berlangsung cepat karena masih banyak situs aktif yang tersedia. Seiring berjalannya waktu, laju penyerapan akan menurun hingga akhirnya mencapai kondisi setimbang. Dalam penelitian ini, waktu kontak divariasikan selama 10, 20, 30, dan 40 menit. Rentang waktu tersebut dipilih untuk mewakili fase awal, pertengahan, hingga mendekati kesetimbangan adsorpsi yang umum terjadi pada sistem batch skala laboratorium (Rizky & Silalahi, 2022). Efektivitas adsorpsi metil jingga pada setiap variasi waktu kontak dapat dilihat pada Grafik 4.4.

Berdasarkan Tabel 4.3 dan Gambar 4.4, secara umum seluruh jenis arang aktif (AC) menunjukkan peningkatan efisiensi adsorpsi seiring bertambahnya waktu kontak. Hal ini terjadi karena semakin lama waktu interaksi, semakin besar peluang molekul metil jingga untuk berdifusi ke dalam pori-pori dan menempati situs aktif pada permukaan adsorben. Pola ini sejalan dengan Sardin et al. (1991) yang menyatakan bahwa pada tahap awal adsorpsi berlangsung cepat karena banyaknya situs aktif yang masih tersedia, kemudian melambat ketika sistem mulai mendekati kesetimbangan (equilibrium).

Pada AC teraktivasi HCl, efisiensi meningkat dari 10 hingga 40 menit, namun kenaikannya mulai melambat setelah 30 menit. Ini

menunjukkan bahwa kesetimbangan mulai tercapai pada kisaran 30–40 menit. Penurunan laju adsorpsi di akhir proses kemungkinan disebabkan oleh sebagian besar situs aktif yang telah terisi serta adanya hambatan difusi (Liu et al., 2020).

AC teraktivasi jeruk nipis (JN) menunjukkan peningkatan paling signifikan dan konsisten dari 10 hingga 40 menit. Hal ini mengindikasikan bahwa struktur porinya lebih terbuka dan memiliki jumlah situs aktif yang lebih banyak, sehingga proses adsorpsi dapat berlangsung lebih efektif hingga mendekati kesetimbangan. Temuan ini mendukung Wu & Pendleton (2001) yang menyatakan bahwa arang aktif dengan luas permukaan besar dan banyak gugus polar lebih efisien dalam mengadsorpsi molekul anionik seperti metil jingga.

Sebaliknya, AC dengan aktivator asam sitrat (AS) menunjukkan efisiensi relatif rendah, hanya meningkat dari 37,392% (10 menit) menjadi 48,494% (40 menit). Laju peningkatan yang lambat ini mengindikasikan bahwa struktur pori kurang berkembang atau distribusi gugus aktifnya tidak optimal. Menurut Kyriakopoulos et al. (2024), laju adsorpsi yang rendah juga dapat disebabkan oleh hambatan difusi internal akibat pori yang sempit atau tertutup.

Sementara itu, AC teraktivasi asam askorbat (AA) memperlihatkan kenaikan tajam pada menit ke-30 dan 40. Pada 10 dan 20 menit awal, proses adsorpsi berlangsung relatif lambat, kemudian meningkat drastis setelah waktu difusi minimum terpenuhi. Pola ini menunjukkan kemungkinan mekanisme dua tahap: fase awal yang lambat karena adaptasi interaksi permukaan, diikuti fase cepat ketika molekul adsorbat mulai mengisi pori-pori secara lebih optimal (Ouzani et al., 2025).

Secara keseluruhan, semua jenis AC menunjukkan tren peningkatan efektivitas adsorpsi dengan bertambahnya waktu kontak, dan sebagian besar mencapai efisiensi maksimum pada 40 menit. Di antara keempat aktivator, AC teraktivasi jeruk nipis memberikan hasil terbaik. Hal ini menegaskan bahwa kombinasi struktur pori yang terbuka dan

keberadaan gugus fungsional hasil aktivasi JN berperan penting dalam meningkatkan kinerja adsorpsi. Dengan demikian, pemilihan aktivator dan waktu kontak yang tepat menjadi faktor krusial dalam mengoptimalkan arang aktif untuk penjerapan metil jingga.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil karakterisasi FTIR, dapat disimpulkan bahwa jenis aktivator memberikan pengaruh yang signifikan terhadap gugus fungsi permukaan karbon aktif berbahan dasar bonggol jagung. Karbon tanpa aktivasi (TA) menunjukkan pita serapan kuat pada bilangan gelombang 2350 cm^{-1} yang mengindikasikan keberadaan gugus karbonil ($\text{O}=\text{C}=\text{O}$), kemungkinan berasal dari sisa senyawa oksigen seperti lignin, selulosa, dan hemiselulosa. Pita ini tidak lagi terdeteksi pada karbon yang diaktivasi menggunakan jeruk nipis (JN), HCl, asam sitrat (AS), maupun asam askorbat (AA), yang menandakan bahwa proses aktivasi kimia berhasil menghilangkan sebagian besar gugus oksigen permukaan. Hal ini menunjukkan bahwa aktivasi mampu meningkatkan kemurnian karbon dengan membersihkan gugus fungsional polar yang berpotensi memengaruhi kinerja adsorpsi. Sementara itu, pita serapan lain seperti $\text{C}=\text{C}$ aromatik (sekitar 1600 cm^{-1}), $\text{C}-\text{O}$ ($1040\text{--}1060\text{ cm}^{-1}$), $\text{C}-\text{H}$ aromatik, dan $\text{C}-\text{C}-\text{C}$ (sekitar 440 cm^{-1}) tetap terdeteksi pada seluruh sampel, baik tanpa maupun dengan aktivasi, yang menunjukkan bahwa struktur aromatik dasar karbon tetap stabil selama proses karbonisasi dan aktivasi.

Hasil uji adsorpsi menunjukkan bahwa variasi massa karbon aktif dan waktu kontak berpengaruh nyata terhadap efektivitas penjerapan metil jingga. Secara umum, peningkatan massa adsorben diikuti oleh peningkatan efisiensi adsorpsi, dengan massa optimum berada pada 0,8 gram. Pada kondisi ini, karbon aktif teraktivasi jeruk nipis (JN) menunjukkan efisiensi tertinggi, yaitu 77,728%. Pengaruh waktu kontak juga memperlihatkan tren serupa, di mana efisiensi adsorpsi meningkat seiring bertambahnya waktu hingga mencapai kondisi optimum pada 40 menit. Efisiensi tertinggi kembali dicapai oleh AC teraktivasi JN sebesar 83,192%, diikuti oleh AA, HCl, dan AS. Hasil ini menegaskan bahwa kombinasi jenis aktivator dan kondisi operasional yang tepat sangat menentukan kinerja

karbon aktif dalam mengadsorpsi metil jingga.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, disarankan agar penelitian selanjutnya melakukan karakterisasi lanjutan terhadap karbon aktif menggunakan metode BET (Brunauer–Emmett–Teller) untuk menentukan luas permukaan spesifik dan distribusi porositas, serta analisis SEM-EDX untuk mengamati morfologi permukaan dan komposisi unsur penyusunnya. Karakterisasi ini penting untuk melengkapi hasil FTIR, sehingga hubungan antara struktur mikroskopik karbon aktif dan kinerjanya dalam proses adsorpsi dapat dipahami secara lebih komprehensif.

Selain itu, untuk menilai potensi karbon aktif dalam aplikasi berkelanjutan, perlu dilakukan uji regenerasi guna mengetahui kemampuan adsorben dalam mempertahankan efektivitasnya setelah beberapa kali penggunaan. Studi lanjutan mengenai kinetika adsorpsi, seperti penerapan model pseudo-first-order dan pseudo-second-order, juga disarankan agar mekanisme penyerapan zat warna dapat dianalisis secara lebih mendalam. Penelitian selanjutnya juga perlu mengkaji model isotherm adsorpsi, khususnya Langmuir dan Freundlich, untuk mengetahui karakteristik permukaan adsorben serta jenis interaksi yang terjadi antara adsorben dan adsorbat.

Target luaran pada penelitian ini adalah publikasi ilmiah karya ilmiah pada Chempublish Journal terakreditasi SINTA 2 dengan status *accepted* yang beralamat pada OJS sebagai berikut : <https://online-journal.unja.ac.id/index.php/chp/index>

DAFTAR PUSTAKA

- Abdel-Aziz, A. B., Mohamed, N., El-taweel, R. M., Sh, H., Salim, A. I., Pal, K., Fahim, I. S., Said, L. A., & Radwan, A. G. (2024). Preparation and Characterization of nZVI, Bimetallic Fe₀-Cu, and Fava Bean Activated Carbon-Supported Bimetallic AC-Fe₀-Cu for Anionic Methyl Orange Dye Removal. *Topics in Catalysis*, 67(1–4), 103–122. <https://doi.org/10.1007/s11244-023-01838-z>
- Aisyahlika, S. Z., Firdaus, M. L., & RinaElvia. (2018). Kapasitas Adsorpsi Arang Aktif Cangkang Bintaro (Cerbera odollam) terhadap Zat Warna Sintetis Reactive Red-120 dan Reactive Blue-198. *Jurnal Pendidikan Dan Ilmu Kimia*, 2(2), 148–155.
- Al-Degs, Y. S., El-Barghouthi, M. I., El-Sheikh, A. H., & Walker, G. M. (2008). Effect of solution pH, ionic strength, and temperature on adsorption behavior of reactive dyes on activated carbon. *Dyes and Pigments*, 77(1), 16–23. <https://doi.org/10.1016/j.dyepig.2007.03.001>
- Al-Odayni, A. B., Alsubaie, F. S., Abdu, N. A. Y., Al-Kahtani, H. M., & Saeed, W. S. (2023). Adsorption Kinetics of Methyl Orange from Model Polluted Water onto N-Doped Activated Carbons Prepared from N-Containing Polymers. *Polymers*, 15(9). <https://doi.org/10.3390/polym15091983>
- Alardhi, S. M., Fiyadh, S. S., Salman, A. D., & Adelikhah, M. (2023). Prediction of methyl orange dye (MO) adsorption using activated carbon with an artificial neural network optimization modeling. *Heliyon*, 9(1), e12888. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e12888>
- Alfarra, A., Frackowiak, E., & Béguin, F. (2004). The HSAB concept as a means to interpret the adsorption of metal ions onto activated carbons. *Applied Surface Science*, 228(1–4), 84–92. <https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2003.12.033>
- Alfiany, H., & Bahri, S. (2013). Kajian Penggunaan Arang Aktif Tongkol Jagung Sebagai Adsorben Logam Pb Dengan Beberapa Aktivator Asam. *Jurnal Natural Science*, 2(3), 75–86.
- Alimah, D. (2021). Characterization of activated charcoal microstructure porosity of cashewnut shell (*Anacardium occidentale* L.). *Jurnal Galam*, 2(1), 16–28. <https://doi.org/10.20886/glm.2021.2.1.16-28>
- Alwardah, C., Meifan, D., Bagastama, B., Wahyuningtyas, A., & Aeni, A. R. (2025). Production of HCl Activated Carbon From Rice Husk Waste. *Jurnal Ilmiah Teknik Sipil dan Teknik Kimia*, 9(2), 177–191.

- Ambarwati, Y. (2019). Utilization of Cassava Rods Waste as Active Charcoal and The Effect of HCl Activator and Activation Time on Active Charcoal. *Tekmapro : Journal of Industrial Engineering and Management*, 14(2), 77–81. <https://doi.org/10.33005/tekmapro.v14i2.122>
- Anggriawan, A., Atwanda, M. Y., Lubis, N., & Fathoni, R. (2019). Kemampuan Adsorpsi Logam Berat Cu dengan Menggunakan Adsorben Kulit Jagung(Zea Mays). *Jurnal Chemurgy*, 3(2), 27. <https://doi.org/10.30872/cmgy.v3i2.3581>
- Anisa, N., Dewi, R., & Nurlaila, R. (2022). Pembuatan Glukosa dari Ampas Tebu dengan Proses Hidrolisis. *Chemical Engineering Journal Storage*, 5(Desember), 54–67.
- Arif, M., Fitriyana, H., Aisyah Rosa, Z. F., & Marbellia, L. (2022). Pemanfaatan Karbon Aktif Dengan Aktivator Asam Klorida (HCl) Dari Campuran Limbah Low-Density Polyethylene (Ldpe) Dan Polyethylene Terephthalate (Pet) Dalam Mengatasi Permasalahan Limbah Pabrik Gula Madukismo Di Sungai Bedog, Bantul. *Kumpulan Karya Tulis Ilmiah Tingkat Nasional*, 53–67. sby.ac.id/lkti/article/view/282
- Arif, M., Pauzan, B., Hafiz, M., Ali, P., Mohd, Y., & Dzarfan, H. (2019). *Optimizing Ammonia Removal from Landfill Leachate Using Natural and Synthetic Zeolite Through Statically Designed Experiment*. 0123456789.
- Ariyani, R., Wirawan, T., & Hindryawati, N. (2020). Pembuatan arang aktif dari ampas tebu dan aplikasinya sebagai adsorben zat warna merah dari limbah pencelupan benang tenun sarung samarinda. *Prosiding Seminar Nasional Kimia Berwawasan Lingkungan*, 86–94. <http://jurnal.kimia.fmipa.unmul.ac.id/index.php/prosiding/article/view/995>
- Arung, S., Yudi, M., & Chadijah, S. (2014). Pengaruh Konsentrasi Aktivator Asam Klorida (HCl) Terhadap Kapasitas Adsorpsi Arang Aktif Kulit Buah Kakao (Theobroma cacao . L) Pada Zat Warna Methanil Yellow. *Al-Kimia*, 2(1), 52–63.
- Bakti, A. I., Lumembang, M. M., & Jumriadi. (2023). Karakterisasi Karbon Aktif yang Terbuat Dari Tempurung Kelapa Menggunakan Teknik Pirolisis Dengan Aktivasi Fisika dan Kimia. *Jurnal MIPA*, 12(2), 56–60.

- Barenboim, G. M., Danilov-Danilyan, V. I., Gelfan, A. N., & Motovilov, Y. G. (2013). On the problems of water quality in Russia and some approaches to their solution. *IAHS-AISH Proceedings and Reports*, 361(April), 77–86.
- Barita Aritonang, Nova Florentina Ambarwati, Eka Margaretha Sinaga, & Ahmad Hafizullah Ritonga. (2022). Sintesis dan Karakterisasi Arang Aktif Dari Kulit Salak Sebagai Adsorben Terhadap Kadar BOD, COD dan TSS Pada Limbah Cair Industri Tekstil. *Jurnal Multidisiplin Madani*, 2(6), 2611–2626. <https://doi.org/10.55927/mudima.v2i6.441>
- Cao, P., Li, Y., & Shao, J. (2024). Experimental Study on the Preparation of Lignin-Based Activated Carbon and the Adsorption Performance for Phenol. *ACS Omega*, 9(23), 24453–24463. <https://doi.org/10.1021/acsomega.4c00352>
- Chen, W., Gong, M., Li, K., Xia, M., Chen, Z., Xiao, H., Fang, Y., Chen, Y., Yang, H., & Chen, H. (2020). Insight into KOH activation mechanism during biomass pyrolysis: Chemical reactions between O-containing groups and KOH. *Applied Energy*, 278(August), 115730. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2020.115730>
- Chew, T. W., H'Ng, P. S., Luqman Chuah Abdullah, B. C. T. G., Chin, K. L., Lee, C. L., Mohd Nor Hafizuddin, B. M. S., & TaungMai, L. (2023). A Review of Bio-Based Activated Carbon Properties Produced from Different Activating Chemicals during Chemicals Activation Process on Biomass and Its Potential for Malaysia. *Materials*, 16(23). <https://doi.org/10.3390/ma16237365>
- Danish, M., Hashim, R., Ibrahim, M. N. M., & Sulaiman, O. (2013). Characterization of Physically Activated Acacia mangium Wood-Based Carbon for the Removal of Methyl Orange Dye. *BioResources*, 8(2), 4223–4339. <https://doi.org/10.15376/biores.8.3.4323-4339>
- Das, S., Mishra, S., & Sahu, H. (2023). A review of activated carbon to counteract the effect of iron toxicity on the environment. *Environmental Chemistry and Ecotoxicology*, 5(February), 86–97. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2023.02.002>
- Dewi, R., Azhari, A., & Nofriadi, I. (2021). Aktivasi Karbon Dari Kulit Pinang Dengan Menggunakan Aktivator Kimia Koh. *Jurnal Teknologi Kimia Unimal*, 9(2), 12. <https://doi.org/10.29103/jtku.v9i2.3351>

- Drasih, N. F., Jhora, F. U., & Dwiridal, L. (2024). Analisis Struktur Mikro Nanokomposit Fe₃O₄ / Karbon Aktif dari Limbah Tongkol Jagung. *Pendidikan Tambusai*, 8(2), 20862–20870.
- Ekawati, Y., Wardana, I. N. G., Novareza, O., Setyarini, P. H., & Alfanaar, R. (2023). The role of lime juice in improving the performance of basic sites on activated carbon surfaces in sulfate ion adsorption in seawater. *Journal of King Saud University - Science*, 35(6), 102788. <https://doi.org/10.1016/j.jksus.2023.102788>
- Eko Ariyanto, Dian Dwi Lestari, D. K. (2021). Analisa kemampuan dan Kinetika Adsorpsi Arang Aktif dari Cangkang Ketapang Terhadap Zat Warna Jingga. *Dinamika penelitian industri*, 32(2), 166–178.
- Erawati, E., & Fernando, A. (2018). Pengaruh Jenis Aktivator Dan Ukuran Karbon Aktif Terhadap Pembuatan Adsorbent Dari Serbuk Gergaji Kayu Sengon (*Paraserianthes Falcataria*). *Jurnal Integrasi Proses*, 7(2), 58. <https://doi.org/10.36055/jip.v7i2.3808>
- Ermawati, D., Andriani, M. A. M., & Utami, R. (2014). Pengaruh ekstrak jeruk nipis (*Citrus aurantifolia*) terhadap residu nitrit daging curing selama proses curing. *Biofarmasi*, 12(1), 18–26. <https://doi.org/10.13057/biofar/f120103>
- Fajarwati, N., Rohsaita, A., Tiyas, W. P. K., & Anisa, Z. (2022). Pelatihan Pemanfaatan Limbah Tongkol Jagung Menjadi Hand Sanitizer di Desa Kawengan. *Jurnal Abdimas Peradaban*, 3(2), 7–13. <https://doi.org/10.54783/ap.v3i2.13>
- Fatimah, S., Arnelli, & Astuti, Y. (2023). Pembuatan Karbon Aktif Berbahan Dasar Sabut Kelapa dengan Aktivator H₂SO₄ dan NaOH sebagai Adsorben Kation Fe dan Cu dalam Limbah Cair Batik Kebumen. *Greensphere: Journal of Environmental Chemistry*, 3(1), 1–8.
- Fatimah, S., & Azinuddin, Y. R. (2022). The Adsorption Performance and Characterization of Activated Charcoal of Bone Char Against Acid Orange 7. *JKPK (Jurnal Kimia dan Pendidikan Kimia)*, 7(3), 303. <https://doi.org/10.20961/jkpk.v7i3.66556>
- Feng, P., Li, J., Wang, H., & Xu, Z. (2020). Biomass-based activated carbon and activators: Preparation of activated carbon from corncob by chemical activation with biomass pyrolysis liquids. *ACS Omega*, 5(37), 24064–24072. <https://doi.org/10.1021/acsomega.0c03494>

- Ferreira, L. M., & de Melo, R. R. (2021). Use of activated charcoal as bio-adsorbent for treatment of residual waters: a review. *Nativa*, 9(2), 215–221. <https://doi.org/10.31413/nativa.v9i2.11387>
- Fitriansyah, A., Amir, H., & Elvinawati, E. (2021). Karakterisasi Adsorben Karbon Aktif dari Sabut Pinang (*Areca catechu*) Terhadap Kapasitas Adsorpsi Zat Warna Indigosol Blue. *Alotrop*, 5(1), 42–54. <https://doi.org/10.33369/atp.v5i1.16485>
- Fraditasari, R., Wardhani, S., & Khunur, M. M. (2015). *Degradasi Methyl Orange Menggunakan Fotokatalis TiO₂-N: Kajian Pengaruh Sinar dan Konsentrasi TiO₂-N*. 1(1), 606–612.
- Ganing, M., Syafaatullah, A. Q., Asdiana, A., Yusuf, I. S., Junianti, F., & Suleman, I. (2023). Pemanfaatan Arang Aktif dari Tongkol Jagung Terhadap Adsorpsi Ion Pb²⁺. *Jtkm*, 2(2), 65–70.
- Gozali, T., Assalam, S., Ikrawan, Y., & Nurfalia, I. (2023). Optimallisasi Formula Minuman Olahan Jeruk Nipis (*Citrus aurantifolia*) dengan Parameter Karakteristik Produk. *Jurnal Penelitian Pertanian Terapan*, 23(2), 288–301. <https://doi.org/10.25181/jppt.v23i2.2923>
- Gutsanu, V., Lisa, * G, & Botnaru, M. (2022). Vitamin C Interaction With Activated Carbons: Isotherms, Thermodynamics, Thermal Investigation. *Research Journal of Life Sciences, Bioinformatics, Pharmaceutical and Chemical Sciences*, 8(32), 32–52. <https://doi.org/10.26479/2022.0804.04>
- Habiba, L., Inda, N. I., Sosidi, H., Sumarni, N. K., Puspitasari, J., & Mirzan, M. (2023). *Isothermal Adsorpsi Ion Tembaga (II) Menggunakan Arang Tongkol Jagung (Zea mays L .) Teraktivasi Kalium Permanganat [Isothermal Adsorption of Copper (II) Ions Using Charcoal from Corn Cobs*. 9(1), 77– 84.
- Hambisa, A. A., Regasa, M. B., Ejigu, H. G., & Senbeto, C. B. (2023). Adsorption studies of methyl orange dye removal from aqueous solution using Anchote peel-based agricultural waste adsorbent. *Applied Water Science*, 13(1), 1–11. <https://doi.org/10.1007/s13201-022-01832-y>
- Hameed, B. H., Din, A. T. M., & Ahmad, A. L. (2007). Adsorption of methylene blue onto bamboo-based activated carbon: Kinetics and equilibrium studies. *Journal of Hazardous Materials*, 141(3), 819–825. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2006.07.049>
- Hanie, N., Meriatna, M., Zulmiardi, Z., & Ginting, Z. (2023). Analisa Dan Kinetika Adsorpsi Zat Warna Metil Orange Menggunakan Adsorben

- Cangkang Kemiri. *Jurnal Teknologi Kimia Unimal*, 12(2), 239.
<https://doi.org/10.29103/jtku.v12i2.13529>
- Hartanto, D. A., Yuwita, E., & Faila, R. N. (2023). *Karakterisasi Gugus Fungsi Pada Karbon Aktif Kulit Jagung Menggunakan Uji Fourier Transform Infrared Sebagai Bahan Pembuatan Adsorben*. 4(1), 2621–1211.
- Hartung, J., Gottwald, T., & Špehar, K. (2002). Selectivity in the chemistry of oxygen-centered radicals - The formation of carbon-oxygen bonds. *Synthesis*, 11, 1469–1498. <https://doi.org/10.1055/s-2002-33335>
- Hasan, M. K., Shahriar, A., & Jim, K. U. (2019). Water pollution in Bangladesh and its impact on public health. *Heliyon*, 5(8), e02145. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2019.e02145>
- Huda, S., Ratnani, R. D., & Kurniasari, L. (2020). Karakterisasi Karbon Aktif dari Bambu Ori (BAMBUSA ARUNDINACEA) yang di Aktivasi Menggunakan Asam Klorida (HCl). *Jurnal Inovasi Teknik Kimia*, 5(1). <https://doi.org/10.31942/inteka.v5i1.3397>
- Ibrahim Abubakar, S., Adamu Ibrahim, M., & Bashir Ibrahim, M. (2020). Adsorption of Methyl Orange Dye onto Raw Maize Cob and Maize Cob Activated Carbon: Isotherms and Thermodynamic Studies. *International Journal of Advanced Chemistry*, 8(1), 147–154. <https://doi.org/10.14419/ijac.v8i1.30676>
- Ibrahim, S. S., Adnan, S., Manati, A. S., & Hammud, K. K. (2023). Prediction of Methyl Orange (MO) Toxicity and Minimizing Its Pollution in Aquatic Environment by Activated Carbon Adsorption. *Iraqi Journal of Industrial Research*, 10(3), 99–110. <https://doi.org/10.53523/ijoirvol10i3id347>
- Ineke Febriana Anggraini, Euis Kusniawati, & Mesi Mayangsari. (2023). Pemanfaatan Tongkol Jagung pada Pembuatan Karbon Aktif dengan Menggunakan Aktivator (Na₂CO₃) serta Pengaruhnya Terhadap Sampel Air Sumur Gali Menggunakan Parameter pH, turbidity, Total Suspended Solid (TSS) & Total Dissolved Solid (TDS). *Jurnal Cakrawala Ilmiah*, 2(5), 61–2272. <https://doi.org/10.53625/jcijurnalcakrawalailmiah.v2i5.5415>
- Islam, M. S., Ang, B. C., Gharekhani, S., & Afifi, A. B. M. (2016). Adsorption capability of activated carbon synthesized from coconut shell. *Carbon Letters*, 20(1), 1–9. <https://doi.org/10.5714/CL.2016.20.001>

Iwuozor, K. O., Ighalo, J. O., Emenike, E. C., Ogunfowora, L. A., & Igwegbe, C.

A. (2021). Adsorption of methyl orange: A review on adsorbent performance. *Current Research in Green and Sustainable Chemistry*, 4(July), 100179. <https://doi.org/10.1016/j.crgsc.2021.100179>

Jevon Aristo Pascal Budiman, I. M. Y., & Jati, W. N. (2018). Potensi Arang Aktif dari Kulit Buah Durian (*Durio Zibethinus Murr.*) dengan Aktivator NaOH sebagai Penjernih Air Sumur. *Biota*, 3(3), 117–124.

Kemp, T. J. (2017). A brief 100 year history of carbon. *Science Progress*, 100(3), 293–298. <https://doi.org/10.3184/003685017x14994318577435>

Ecological problems in the Russian Federation. Impact on the health of people and the country's economy, 217 E3S Web of Conferences (2020). <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202021711001>

Koch, E. C. (2005). Acid-base interactions in energetic materials: I. The Hard and Soft Acids and Bases (HSAB) principle - Insights to reactivity and sensitivity of energetic materials. *Propellants, Explosives, Pyrotechnics*, 30(1), 5–16. <https://doi.org/10.1002/prop.200400080>

Kosim, M. E., Siskayanti, R., Prambudi, D., & Rusanti, W. D. (2022). Perbandingan Kapasitas Adsorpsi Karbon Aktif Dari Kulit Singkong Dengan Karbon Aktif Komersil Terhadap Logam Tembaga Dalam Cair Limbah. *Jurnal Redoks*, 7(1), 36–47. <https://doi.org/10.31851/redoks.v7i1.6637>

Krismayanti, N. P. A., Manurung, M., & Suastuti, N. G. A. M. D. A. (2019). Sintesis Arang Aktif Dari Limbah Batang Bambu Dengan Aktivator Naoh Sebagai Adsorben Ion Krom (III) Dan Timbal (II). *Cakra Kimia*, 7(2), 189–197. <https://scholar.google.com/citations?user=HocW0joAAAAJ&hl=id&oi=sra>

Kumar Mishra, R., Singh, B., & Acharya, B. (2024). A comprehensive review on activated carbon from pyrolysis of lignocellulosic biomass: An application for energy and the environment. *Carbon Resources Conversion*, 7(4). <https://doi.org/10.1016/j.crcon.2024.100228>

Kusumawati, I., Marwoto, P., Rusilowati, A., Sumarni, W., & Iswari, R. S. (2022). *Examining Activator and Carbonization Pineapple Crown Leaf Resistor : Wuluh Star Fruit and Calamansi Variant*. 8–14.

- Kyriakopoulos, G. L., Tsimnadis, K., Sebos, I., & Charabi, Y. (2024). Investigating the Effect of Pore Size Distribution on the Sorption Types and the Adsorption-Deformation Characteristics of Porous Continua: The Case of Adsorption on Carbonaceous Materials. *Crystals*, 14(8). <https://doi.org/10.3390/cryst14080742>
- Laos, L. E., Masturi, M., & Yulianti, I. (2016). Pengaruh Suhu Aktivasi Terhadap Daya Serap Karbon Aktif Kulit Kemiri. *Prosiding Seminar Nasional fisika*, 5. <https://doi.org/10.21009/0305020226>
- Lestari, J., Nurlaila, R., & Fibarzi, W. U. (2024). Pengaruh Konsentrasi Aktivator HCl dan Ukuran Partikel Terhadap Kemampuan Daya Serap Karbon Aktif dari Ampas Bubuk Kopi. *Chemical Engineering Journal Storage*, 4(Agustus), 596–605.
- Lestari, R. K., Amalia, E., & Yuwono, Y. (2018). Efektivitas jeruk nipis (*citrus aurantifolia* swingle) sebagai zat antiseptik pada cuci tangan. *Jurnal Kedokteran dan Kesehatan : Publikasi Ilmiah Fakultas Kedokteran Universitas Sriwijaya*, 5(2), 55–65. <https://doi.org/10.32539/jkk.v5i2.6126>
- Liew, R. K., Chong, M. Y., Osazuwa, O. U., Nam, W. L., Phang, X. Y., Su, M. H., Cheng, C. K., Chong, C. T., & Lam, S. S. (2018). Production of activated carbon as catalyst support by microwave pyrolysis of palm kernel shell: a comparative study of chemical versus physical activation. *Research on Chemical Intermediates*, 44(6), 3849–3865. <https://doi.org/10.1007/s11164-018-3388-y>
- Liu, S., Peng, Y., Chen, J., Yan, T., Zhang, Y., Liu, J., & Li, J. (2020). A new insight into adsorption state and mechanism of adsorbates in porous materials. *Journal of Hazardous Materials*, 382(June 2019), 121103. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2019.121103>
- Lubis, Novriyanti, dang soni, novi nurfitri fauziyah. (2021). Daya Serap Arang Aktif Bambu Dan Batok Kelapa Sebagai Pewarna Makanan Yang Dijual Di Pasaran. *Jurnal Ilmiah Farmasi*, 10(2), 121. <https://doi.org/10.30591/pjif.v10i2.2437>
- Malini, K., Selvakumar, D., & Kumar, N. S. (2023). Activated carbon from biomass: Preparation, factors improving basicity and surface properties for enhanced CO₂ capture capacity - A review. *Journal of CO₂ Utilization*, 67(October 2022), 102318. <https://doi.org/10.1016/j.jcou.2022.102318>
- Mantong, J. O., Argo, B. D., & Susilo, B. (2018). Making Active Charcoal From Corn Cob Waste As Adsorbent At Liquid Waste Tofu. *Jurnal*

Keteknikan Pertanian Tropis dan Biosistem, 6(2), 100–106.
<https://jkptb.ub.ac.id/>

- Manurung, M., Sahara, E., & Sihombing, P. S. (2019). Pembuatan dan Karakterisasi Arang Aktif dari Bambu Apus (*Gigantochloa apus*) dengan Aktivator H₃PO₄. *Jurnal Kimia*, 13(1), 16.
<https://doi.org/10.24843/jchem.2019.v13.i01.p03>
- Md Salim, R., Asik, J., & Sarjadi, M. S. (2021). Chemical functional groups of extractives, cellulose and lignin extracted from native *Leucaena leucocephala* bark. *Wood Science and Technology*, 55(2), 295–313. <https://doi.org/10.1007/s00226-020-01258-2>
- Meilianti, M. (2020). Pembuatan Karbon Aktif dari Arang Tongkol Jagung dengan Variasi Konsentrasi Aktivator Natrium Karbonat (Na₂CO₃). *Jurnal Distilasi*, 5(1), 14.
<https://doi.org/10.32502/jd.v5i1.3025>
- Moradi, S. E., & Nasrollahpour, A. (2017). Competitive adsorption and photodegradation of Methyl orange and Rhodamine B by TiO₂ modified mesoporous carbon photo-catalyst on UV irradiation. *Materials Technology*, 32(12), 716–723.
<https://doi.org/10.1080/10667857.2017.1345837>
- Musa Abubakar Tadda, Amimul Ahsan, Abubakar Shitu, Moetaz Elsergany, Arunkumar Thirugnanasambantham, Bipin Jose, Md Abdur Razzaque, & Nik Daud Nik Norsyahariati. (2016). A review on activated carbon: process, application and prospects. *Journal of Advanced Civil Engineering Practice and Research*, 2(1), 7–13.
- Mustafa, Firman, Sirajuddin, Wahyudi, & Muh.Amin. (2023). Pengaruh Aktivator HCl, H₃PO₄, NH₄Cl Terhadap Kualitas Karbon Aktif Dari Tempurung Kelapa. *Majalah Teknik Industri*, 31(1), 33–40. <https://doi.org/10.61844/majalahteknikindustri.v31i1.669>
- Muzarpar, M. S., & Leman, A. M. (2021). The Adsorption Mechanism of Activated Carbon and Its Application - A Review. *International Journal of Advanced Technology in Mechanical, Mechatronics and Materials*, 1(3), 118–124. <https://doi.org/10.37869/ijatec.v1i3.37>
- Nenohai, J. A., Minata, Z. S., Ronggopuro, B., Sanjaya, E. H., & Utomo, Y. (2023). Penggunaan Karbon Aktif dari Biji Kelor dan Berbagai Biomassa Lainnya dalam Mengatasi Pencemaran Air : Analisis Review. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 21(1), 29–35.
<https://doi.org/10.14710/jil.21.1.29-35>

- Ngapa, Y. D., & Ika, Y. E. (2020). Indonesian Journal of Chemical Research. *Indonesian Journal of Chemical Research*, 8(2), 151–158. <https://doi.org/10.30598/ijcr>
- Nitsae, M., Lano, L. A., & Ledo, M. E. (2020). Pembuatan Arang Aktif dari Tempurung Siwalan (*Borassus flabellifer* L.) yang Diaktivasi dengan Kalium Hidroksida (KOH). *Biota : Jurnal Ilmiah Ilmu-Ilmu Hayati*, 5(1), 8–15. <https://doi.org/10.24002/biota.v5i1.2948>
- Nitsae, M., Solle, H. R. L., Martinus, S. M., & Emola, I. J. (2021). Studi Adsorpsi Methylene Blue terhadap Arang Aktif Tempurung Lontar (*Borassus flabellifer* L.) Asal Nusa Tenggara Timur. *Jurnal Kimia Riset*, 6(1), 46. <https://doi.org/10.20473/jkr.v6i1.24525>
- Ouzani, A., Zouambia, Y., Maachou, H., Krea, M., Assadi, A. A., Khezami, L., Benguerba, Y., Zhang, J., Amrane, A., Elfalleh, W., & Tahraoui, H. (2025). Sustainable Removal of Basic Fuch sine and Methylene Blue Dyes Using Chicken Bone Biomass: Thermodynamics, Kinetics, and Insights from Experimental Studies and Decision Tree with Least Squares Boosting Predictive Modeling. *Water (Switzerland)*, 17(7). <https://doi.org/10.3390/w17071053>
- Pambayun, G. S., Yulianto, R. Y. E., Rachimoellah, M., & Putri, E. M. M. (2013). Pembuatan karbon aktif dari arang tempurung kelapa dengan aktivator $ZnCl_2$ dan Na_2CO_3 sebagai adsorben untuk mengurangi kadar fenol dalam air limbah. *Jurnal Teknik Pomits*, 2(1), 116–120. <https://doi.org/10.12962/j23373539.v2i1.2437>
- Paputungan, M., & Iyabu, H. (2021). Pengaruh Aktivator HCl dan H_3PO_4 terhadap Karakteristik (Morfologi Pori) Arang Aktif Tempurung Kelapa serta Uji Adsorpsi pada Logam Timbal (Pb). *entropi volume*, 13(1), 66–75.
- Patel, H. (2018). Charcoal as an adsorbent for textile wastewater treatment. *Separation Science and Technology (Philadelphia)*, 53(17), 2797–2812. <https://doi.org/10.1080/01496395.2018.1473880>
- Pehlivan, E. (2018). Production and characterization of activated carbon from pomegranate pulp by phosphoric acid. *Journal of the Turkish Chemical Society, Section A: Chemistry*, 5(Special Issue 1), 1–8. <https://doi.org/10.18596/jotcsa.370738>
- Kementerian Pertanian, Laporan Statistik Pertanian 2023. (2023).

- Pires, M. J. R. G. R., Ferra, M. I. A., & Marques, A. M. M. (2012). Ionization of methyl orange in aqueous sodium chloride solutions. *Journal of Chemical Thermodynamics*, 53, 93–99. <https://doi.org/10.1016/j.jct.2012.04.023>
- Prabawati, S. Y., Aji, D. P., & Rahmadhani, D. (2023). Limbah Kulit Buah Salak Teraktivasi Asam Klorida Sebagai Arang Aktif Logam Berat Timbal Pb (II) dan Kromium Cr (VI). *Journal of Chemistry*, 18(1), 1–13. <https://doi.org/10.24843/JCHEM.2024.v18.i01.p14>
- Purwanti, E., Ramdani, D., Rahmadewi, R., Nugraha, B., Efelina, V., & Dampang, S. (2021). Sosialisasi Manfaat Karbon Aktif Sebagai Media Filtrasi Air Guna Meningkatkan Kesadaran Akan Pentingnya Air Bersih Di Smk Pgri Cikampek. *SELAPARANG Jurnal Pengabdian Masyarakat Berkemajuan*, 4(2), 381. <https://doi.org/10.31764/jpmb.v4i2.4389>
- Purwitasari, D. G., Tussania, R., & Fathoni, R. (2022). Adsorpsi Logam Kadmium (Cd) pada Kadmium Sulfat (CdSO₄) Menggunakan Batang pohon Pisang sebagai Adsorben. *Jurnal Chemurgy*, 6(1), 52. <https://doi.org/10.30872/cmg.v6i1.7905>
- Rampe, M. J., & Tiwow, V. A. (2018). Fabrication and Characterization of Activated Carbon from Charcoal Coconut Shell Minahasa, Indonesia. *Journal of Physics: Conference Series*, 1028(1). <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1028/1/012033>
- Rattanapan, S., Srikram, J., & Kongsune. (2017). Adsorption of Methyl Orange on Coffee grounds Activated Carbon. *Energy Procedia*, 138, 949–954. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.10.064>
- Rena Aprilianti, Dera Selviani, Diani Lestari, H. A. (2023). Green Synthesis Nanopartikel Karbon Aktif dari Limbah Batok Kelapa. *Jurnal Riset Fisika Indonesia*, 4(1), 37–40.
- Rizky, S., & Silalahi, R. (2022). Pengaruh Waktu Kontak Terhadap Efisiensi Adsorpsi Ion Logam Cu(II) Pada Karbon Aktif Bunga Pinus Merkusii. *Jurnal Inovasi Ramah Lingkungan (JIRL)*, 3(3), 1–4.
- Rochmah, N., Ch., D. M., & Lestari, S. (2014). Potensi Jeruk Nipis (Citrus aurantifolia) dalam Memutihkan Email Gigi yang Mengalami Diskolorasi Lime (Citrus aurantifolia) Potential to The Whiten Discoloration Tooth Enamel. *Insisiva Dental Journal: Majalah Kedokteran Gigi Insisiva*, 3(1), 78–83. <https://journal.umy.ac.id/index.php/di/article/view/1731>
- Roni, K. A., Martini, S., & Legiso. (2021). Analisis Adsorben Arang Aktif Sekam Padi Dan Kulit Pisang Kepok Untuk Pengolahan Air Sungai

Gasing, Talang Kelapa, Kabupaten Banyuasin Sumatera Selatan. *Jurnal Konversi UMJ*, 10(2), 13–18.

- Saad, M. J., Chia, C., Zakaria, S., Sajab, M. S., & Misran, S. (2020). Malaysia rice wastes for activated carbon production. *9th Kuala Lumpur International Agriculture, Forestry and Plantation Conference, December*, 20–26.
- Sanjaya, A. S., & Agustine, R. P. (2015). Studi Kinetika Adsorpsi Pb Menggunakan Arang Aktif dari Kulit Pisang. *Konversi*, 4(1), 17. <https://doi.org/10.20527/k.v4i1.261>
- Sardin, M., Schweich, D., Leij, F. J., & van Genuchten, M. T. (1991). Modeling the Nonequilibrium Transport of Linearly Interacting Solutes in Porous Media: A Review. *Water Resources Research*, 27(9), 2287–2307. <https://doi.org/10.1029/91WR01034>
- Sathiyamoorthi, S., Chandrasekaran, M., Thiruppathi, K., Padmanathan, P., Subashchandrabose, S., & Gomathi, S. (2024). Synthesis, characterization, quantum mechanical calculations and biomedical docking studies on curcumin analogs: 2, 6-(Difurfurylidene) cyclohexanone and 2, 6 – Bis (2,6- Dichloro Benzylidene) Cyclohexanone. *Heliyon*, 10(19), e38300. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e38300>
- Sholikhah, H. I., Putri, H. R., & Inayati, I. (2021). Pengaruh Konsentrasi Aktivator Asam Fosfat (H₃PO₄) pada Pembuatan Karbon Aktif dari Sabut Kelapa terhadap Adsorpsi Logam Kromium. *Equilibrium Journal of Chemical Engineering*, 5(1), 45. <https://doi.org/10.20961/equilibrium.v5i1.53572>
- Song, M., Jin, B., Xiao, R., Yang, L., Wu, Y., Zhong, Z., & Huang, Y. (2013). The comparison of two activation techniques to prepare activated carbon from corn cob. *Biomass and Bioenergy*, 48, 250–256. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2012.11.007>
- Soonmin, H., & Kabbashi, N. A. (2021). Review on activated carbon: Synthesis, properties and applications. *International Journal of Engineering Trends and Technology*, 69(9), 124–139. <https://doi.org/10.14445/22315381/IJETT-V69I9P216>
- Sun, Y., & Webley, P. A. (2010). Preparation of activated carbons from corncob with large specific surface area by a variety of chemical activators and their application in gas storage. *Chemical Engineering Journal*, 162(3), 883–892. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2010.06.031>

- Suwantiningsih, S., Khambali, K., & Narwati, N. (2020). Daya Serap Arang Aktif Tongkol Jagung sebagai Media Filter dalam Menurunkan Kadar Besi (Fe) pada Air. *Ruwa Jurai: Jurnal Kesehatan Lingkungan*, 14(1), 33. <https://doi.org/10.26630/rj.v14i1.2170>
- Syauqiah, I., Amalia, M., & Kartini, H. A. (2011). Analisis Variasi Waktu dan Kecepatan Pengaduk pada Proses Adsorpsi Limbah Logam Berat dengan Arang Aktif. *Info Teknik*, 12(1), 11–20.
- Tan, I. A. W., Ahmad, A. L., & Hameed, B. H. (2008). *Adsorption of basic dye using activated carbon prepared from oil palm shell : batch and fixed bed studies*. 225, 13–28. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2007.07.005>
- Tang, M. M., & Bacon, R. (1964). Carbonization of cellulose fibers- I. Low temperature pyrolysis. *Carbon*, 2(3), 211–220. [https://doi.org/10.1016/0008-6223\(64\)90035-1](https://doi.org/10.1016/0008-6223(64)90035-1)
- Taquieteu, I. K., Dzoujo, H. T., Shikuku, V. O., Banenzoué, C., & Dina, D. D. J. (2023). Fixed-Bed Adsorption of an Azo Dye (Methyl Orange) onto Chemically and Thermally Regenerated Activated Carbons. *Journal of Chemistry*, 2023. <https://doi.org/10.1155/2023/6677710>
- Thohir, M. B. (2023). Penerapan Green Chemistry Nomor 7 untuk Penurunan Kesadahan Air. *Hydrogen: Jurnal Kependidikan Kimia*, 11(6), 874. <https://doi.org/10.33394/hjkk.v11i6.9871>
- Thuy, L. T. T., Thi Thuy, P., Thi Giang Anh, P., Tien, N. A., Thi Hong Bich, N., & Khieu, D. Q. (2023). Simultaneous adsorption of malachite green, methyl orange, and rhodamine B with TiO₂/macadamia nutshells-derived activated carbon composite. *Materials Research Express*, 10(12). <https://doi.org/10.1088/2053-1591/ad16aa>
- Ushanandhini, G., Anbarasan, V., Alvin Kalicharan, A., & Arivalagan, K. (2021). Scavenging methyl orange dye from aqueous solution using an effective low- cost activated carbon prepared from delonix Regia seeds. *Indian Journal of Chemical Technology*, 28(5), 631–636. <https://doi.org/10.56042/ijct.v28i5.67604>
- Vedenyapina, M. D., Kurmysheva, A. Y., Kulaishin, S. A., & Kryazhev, Y. G. (2021). Adsorption of Heavy Metals on Activated Carbons (A Review). *Solid Fuel Chemistry*, 55(2), 83–104.

<https://doi.org/10.3103/S0361521921020099>

- Verayana, Paputungan, M., & Iyabu, H. (2018). Effect of HCl and H₃PO₄ activators on the characteristics (pore morphology) of activated coconut shell charcoal and adsorption tests on lead (Pb) metal. *Jurnal Entropi*, 13(1), 67–75.
- Wu, S. H., & Pendleton, P. (2001). Adsorption of anionic surfactant by activated carbon: Effect of surface chemistry, ionic strength, and hydrophobicity. *Journal of Colloid and Interface Science*, 243(2), 306–315. <https://doi.org/10.1006/jcis.2001.7905>
- Wulandari, F., & Harismah, K. (2023). Pemurnian Minyak Daun Cengkeh Dengan Metode Adsorpsi Menggunakan Adsorben Lempung Bentonit Dengan Aktivasi Asam Sitrat dari Lemon. *Jurnal Program Studi Teknik Kimia, Universitas Muhammadiyah Surakarta*, 1–14.
- Wuntu, A. D., & Kamu, V. S. (1992). Aceton Adsorption on Tamarind Seed Activated Carbon. *Jurnal Ilmiah Sains*, 11(2), 174–177.
- Yousef, R. I., & El-Eswed, B. (2009). The effect of pH on the adsorption of phenol and chlorophenols onto natural zeolite. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 334(1–3), 92–99. <https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2008.10.004>
- Yousef, R., Qiblawey, H., & El-Naas, M. H. (2020). Adsorption as a process for produced water treatment: A review. *Processes*, 8(12), 1–22. <https://doi.org/10.3390/pr8121657>
- Yunfa Winata, B., Kartika Erliyanti, N., Ramadhan Yogaswara, R., & Adi Saputro, E. (2020). Pra Perancangan Pabrik Karbon Aktif Dari Tempurung Kelapa Dengan Proses Aktivasi Kimia Pada Kapasitas 20.000 Ton/Tahun. *Jurnal Teknik ITS*, 9(2), 399–404.
- Yuningsih, L. M., Mulyadi, D., & Kurnia, A. J. (2016). Pengaruh Aktivasi Arang Aktif dari Tongkol Jagung dan Tempurung Kelapa Terhadap Luas Permukaan dan Daya Jerap Iodin. *Jurnal Kimia VALENSI*, 2(1), 30–34. <https://doi.org/10.15408/jkv.v2i1.3091>

Lampiran-lampiran

The screenshot shows the user interface of the JURNAL USK website. At the top, there is a navigation bar with the journal's logo and name, along with a quote: "Takaal Bilal, Melahirkan Perbuatan-Nyala, Darussalam, Menuju Pelaksanaan Tiga-Tajila." attributed to "Ibnu Karamo (1959)". Below the navigation bar, the main content area is titled "Active Submissions". It features a table with columns for ID, DD-MM-YYYY, Sec, Authors, Title, and Status. A single submission is listed with ID 61761, date 19-01-2026, section ART, author Enawato, Dyah Setyaningrum, and title "Exploration of Natural Acid as Activator". The status is "Submitted". To the right of the main content, there is a sidebar with sections for "OPEN JOURNAL SYSTEMS", "Journal Help", "USER" (showing the user is logged in as "erwantokimia" with links for My Journals, My Profile, and Log Out), "LANGUAGE" (set to English), and "JOURNAL CONTENT" (with a search bar and scope dropdown).

ID	DD-MM-YYYY	Sec	Authors	Title	Status
61761	19-01-2026	ART	Enawato, Dyah Setyaningrum, ...	Exploration of Natural Acid as Activator	Submitted