



**AKTIVASI *BIOCHAR* DARI TONGKOL JAGUNG
MENGUNAKAN AKTIVATOR H_3PO_4
UNTUK ADSORPSI NO_3^-**

SKRIPSI

Oleh:

**Putri Iswari Dewi
201810301073**

**KEMENTERIAN PENDIDIKAN TINGGI, SAINS, DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS JEMBER
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
JURUSAN KIMIA
JEMBER
2025**



**AKTIVASI *BIOCHAR* DARI TONGKOL JAGUNG
MENGUNAKAN AKTIVATOR H_3PO_4
UNTUK ADSORPSI NO_3^-**

*diajukan untuk memenuhi sebagian persyaratan memperoleh gelar Sarjana
pada program studi Kimia*

SKRIPSI

Oleh:

**Putri Iswari Dewi
201810301073**

**KEMENTERIAN PENDIDIKAN TINGGI, SAINS, DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS JEMBER
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
JURUSAN KIMIA
JEMBER
2025**

PERSEMBAHAN

Dengan segenap rasa syukur dan penuh cinta, skripsi ini saya persembahkan kepada:

1. Kedua orang tua saya tercinta, Babe Ketut dan Ibu Nyoman yang dengan setulus hati memberikan doa, dukungan, dan kasih sayang serta pengorbanan yang tidak ternilai kepada saya. Terima kasih telah memberikan kepercayaan kepada saya, sehingga saya dapat berdiri dan menyelesaikan masa studi saya di Jurusan Kimia Universitas Jember ini.
2. Adik saya tersayang, Sinta yang selalu memberi semangat, dukungan, dan juga keyakinan kepada saya bahwa saya mampu. Terima kasih sudah selalu hadir dan mendengarkan keluh kesah saya selama ini.
3. Bapak dan Ibu dosen serta teknisi Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Jember yang telah memberikan ilmu, terutama Bapak Bambang dan Ibu Indarti selaku pembimbing saya. Terima kasih karena telah memberikan bantuan, semangat, dan doa sehingga skripsi ini dapat selesai.
4. Teman-teman kelompok Riset *Biochar*, Biomaterial, WOLFRAM, dan teman-teman saya di lingkup atau luar Universitas Jember, terima kasih telah membantu dan berbagi ilmu selama saya berkuliah dan menempuh tugas akhir.
5. Bulan, ciptaan Tuhan yang setiap malam telah bersedia menemani dan menjadi pendengar yang baik untuk segala cerita hidup saya terutama dimasa menempuh tugas akhir yang begitu hebat ini.

MOTTO

*“Life isn’t about a hundred-meter race against your friends,
but a lifelong marathon against yourself”
(Haemin Sunim)*¹*

¹ Sunim, Haemin. 2012. *The Things You Can See Only When You Slow Down*. New York: Penguin Books.

PERSEMBAHAN ORISINALITAS

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Putri Iswari Dewi

NIM : 201810301073

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa skripsi yang berjudul: *Aktivasi Biochar dari Tongkol Jagung menggunakan Aktivator H_3PO_4 untuk Adsorpsi NO_3^-* adalah benar-benar hasil karya sendiri, kecuali jika dalam pengutipan substansi disebutkan sumbernya, dan belum pernah diajukan pada institusi manapun, serta bukan karya jiplakan. Saya akan bertanggung jawab atas keabsahan dan kebenaran isinya sesuai dengan skripsi ilmiah yang harus dijunjung tinggi.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya, tanpa adanya tekanan dan paksaan dari pihak manapun serta bersedia mendapat sanksi akademik jika ternyata di kemudian hari pernyataan ini tidak benar.

Jember, 16 Januari 2025

Yang menyatakan,

Putri Iswari Dewi
NIM. 201810301073

HALAMAN PERSETUJUAN

Skripsi berjudul *Aktivasi Biochar dari Tongkol Jagung menggunakan Aktivator H_3PO_4 untuk Adsorpsi NO_3^-* telah diuji dan disahkan pada:

Hari, tanggal :

Tempat : Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas
Jember

Tim Penguji

Ketua,

Anggota I,

Dwi Indarti, S.Si., M.Si.
NIP.197409012000032004

Dr. Bambang Piluharto, S.Si., M.Si
NIP. 197107031997021001

Anggota II,

Anggota III,

Drs. Zulfikar, Ph.D.
NIP. 196310121987021001

Tanti Haryati, S.Si., M.Si.
NIP. 198010292005012002

ABSTRACT

The adsorption capacity of biochar can be enhanced through an activation process. Biochar activation could be done in three ways; physical, biological and chemical activation. The chemical activation in this research was performed using chemical compounds H_3PO_4 as an activating agent at concentrations of 0%, 10%, 20%, 30%, and 40% by soaking for 9 hours. In this research, the manufacture of biochar was carried out by the slow pyrolysis method at a temperature of 280-400°C for 4 hours. The synthesized biochar was analyzed for its water content and its functional groups. The analysis on activated biochar was done including functional group assessment as well as measurements of water content, ash content, and iodine number. The results indicated that the optimal concentration was found at 30% H_3PO_4 with 0,594% water content, 1,533% ash content, and 1217,7 mg/g iodine number. Adsorption studies with nitrate as the adsorbate revealed that the optimal contact time for each biochar was 20 minutes, with a maximum adsorption capacity of 4,72 mg/g at concentration 30%. The adsorption isotherms for each concentration are following the Freundlich isothermal model or multilayer.

Keywords: activated biochar, adsorption, biochar, nitrate, phosphoric acid

RINGKASAN

Aktivasi *Biochar* dari Tongkol Jagung menggunakan Aktivator H_3PO_4 untuk Adsorpsi NO_3^- : Putri Iswari Dewi, 201810301073; 2024, 31 Halaman; Jurusan Kimia; Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam; Universitas Jember.

Biochar merupakan material kaya karbon yang terbuat dari biomassa melalui proses pirolisis. Pirolisis yang sering digunakan dalam pembuatan *biochar* adalah pirolisis lambat yang menggunakan suhu $<400^\circ C$. Biomassa yang digunakan pada penelitian ini adalah tongkol jagung. Tongkol jagung dapat dimanfaatkan menjadi *biochar* karena mengandung selulosa 41%, hemiselulosa 36%, dan lignin 16% yang dapat terdekomposisi pada suhu $<400^\circ C$. Hasil dari pirolisis umumnya berupa gas, tar dan karbon. Selain itu, *biochar* tongkol jagung dapat dimanfaatkan salah satunya sebagai adsorben. Namun daya adsorpsi *biochar* perlu ditingkatkan agar didapatkan hasil yang maksimal yaitu dengan aktivasi. Aktivasi yang sering dilakukan yaitu aktivasi kimia dengan menggunakan senyawa kimia seperti asam fosfat, natrium hidroksida, dan asam klorida.

Penelitian diawali dengan mengkonversi biomassa menjadi *biochar* melalui proses pirolisis yang dilanjutkan dengan proses aktivasi. Pirolisis *biochar* dilakukan menggunakan metode pirolisis lambat pada suhu $280-400^\circ C$ selama 4 jam. *Biochar* hasil pirolisis lalu dianalisis menggunakan FTIR yang dilanjutkan dengan proses aktivasi. Aktivasi yang digunakan yaitu aktivasi secara kimia dengan menggunakan H_3PO_4 sebagai aktivator. Proses aktivasi dilakukan dengan cara merendam *biochar* di dalam larutan H_3PO_4 dengan variasi konsentrasi 0%, 10%, 20%, 30%, dan 40% selama 9 jam. Aktivator H_3PO_4 dipilih karena mampu menciptakan pori-pori dan struktur permukaan yang lebih baik tanpa merusak struktur yang ada. Aktivasi ini meningkatkan luas permukaan pada *biochar*, sehingga kapasitas adsorpsinya juga meningkat. Setelah diaktivasi, *biochar* teraktivasi dianalisis menggunakan FTIR untuk mengetahui gugus fungsi. Selain itu, analisis dilakukan juga untuk kadar air, kadar abu, dan bilangan iod. Studi adsorpsi kemudian dilakukan untuk menentukan model isothermal adsorpsi yang terjadi.

Biochar teraktivasi menunjukkan bahwa keseluruhan memiliki gugus fungsi aktif yaitu C=O, -COOH dan C-O-C. Nilai kadar air dari *biochar* teraktivasi berturut-turut yaitu 1,593%; 0,997%; 0,788%; 0,594% dan 0,663%. Nilai kadar abu *biochar* teraktivasi berturut-turut yaitu 3,114%; 2,608%; 2,133%; 1,533% dan 1,768%. Daya serap iod pada *biochar* teraktivasi berturut-turut yaitu 763,91 mg/g; 829,06 mg/g; 996,61 mg/g; 1217,70 mg/g, dan 1133,90 mg/g. Hasil menunjukkan bahwa semakin tinggi konsentrasi H₃PO₄ maka akan menurunkan nilai kadar air dan kadar abu, namun meningkatkan nilai bilangan iod. Waktu kontak dari masing-masing *biochar* didapatkan pada menit 20. Hasil terbaik didapatkan pada *biochar* teraktivasi H₃PO₄ 30% dengan kadar air 0,594%, kadar abu 1,533%, serta bilangan iodin 1217,7 mg/g. Nilai Q_e yang didapat pada masing-masing *biochar* teraktivasi H₃PO₄ 0–40% berturut-turut yaitu 3,05 mg/g, 3,65 mg/g, 3,91 mg/g, 4,72 mg/g, dan 4,30 mg/g. Model isothermal adsorpsi untuk kelima variasi konsentrasi mengikuti model isothermal Freundlich dan menunjukkan bahwa proses adsorpsi terjadi secara *multilayer*.

PRAKATA

Puji syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa karena limpahan rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini dengan judul “Aktivasi *Biochar* dari Tongkol Jagung menggunakan Aktivator H_3PO_4 untuk Adsorpsi NO_3^- “. Skripsi ini ditulis dengan tujuan untuk memenuhi salah satu syarat lulus pendidikan strata satu (S1) pada Program Studi Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Jember. Penulis menyadari bahwa dalam penyusunan skripsi ini tidak terlepas dari bantuan berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis ingin menyampaikan terima kasih kepada:

1. Bapak Prof. Drs. Dafik, M.Sc., Ph.D., selaku Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Jember;
2. Ibu Prof. Dr. Anak Agung Istri Ratnadewi, S.Si., M.Si., selaku Ketua Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Jember;
3. Ibu Dwi Indarti, S.Si., M.Si., selaku Dosen Pembimbing Akademik;
4. Ibu Dwi Indarti, S.Si., M.Si., dan Bapak Dr. Bambang Piluharto, S.Si., M.Si., selaku Dosen Pembimbing Utama dan Dosen Pembimbing Anggota;
5. Bapak Drs. Zulfikar, Ph.D., dan Ibu Tanti Haryati, S.Si., M.Si., selaku Dosen Penguji;
6. Seluruh Bapak dan Ibu Dosen Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Jember;
7. Seluruh pihak yang telah berkontribusi dalam penyusunan skripsi ini.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini dalam penulisannya masih memiliki banyak kekurangan. Penulis berharap skripsi ini dapat memberi manfaat bagi pembacanya.

Jember, Januari 2025

Penulis

DAFTAR ISI

PERSEMBAHAN	ii
MOTTO	iii
PERSEMBAHAN ORISINALITAS	iv
HALAMAN PERSETUJUAN	v
ABSTRACT	vi
RINGKASAN	vii
PRAKATA	ix
DAFTAR ISI	x
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR LAMPIRAN	xiv
BAB 1. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan	3
1.4 Manfaat	3
1.5 Batasan Masalah	4
BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Tongkol Jagung.....	5
2.2 <i>Biochar</i> Teraktivasi.....	5
2.3 <i>Fourier Transform Infra-Red</i> (FTIR)	8
2.4 Model Adsorpsi.....	9
BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN	11
3.1 Tempat dan Waktu Kegiatan.....	11
3.2 Alat dan Bahan.....	11
3.2.1 Alat.....	11
3.2.2 Bahan	11
3.3 Prosedur Penelitian	11
3.3.1 Sintesis dan Aktivasi <i>Biochar</i>	11
3.3.2 Karakterisasi <i>Biochar</i> Teraktivasi.....	12
3.3.3 Uji Daya Adsorpsi.....	13
BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN	15
4.1 <i>Biochar</i> Teraktivasi.....	15
4.2 Karakteristik <i>Biochar</i> Teraktivasi	19
4.2.1 Analisis Gugus Fungsi menggunakan FTIR.....	19

4.2.2 Kadar Air	20
4.2.3 Kadar Abu	21
4.2.4 Bilangan Iodin.....	22
4.3 Studi Adsorpsi <i>Biochar</i> Teraktivasi terhadap Nitrat.....	23
4.3.1 Waktu Kontak	23
4.3.2 Model Isotermal Adsorpsi.....	25
BAB 5. KESIMPULAN DAN SARAN	28
5.1 Kesimpulan	28
5.2 Saran	28
DAFTAR PUSTAKA	29
LAMPIRAN.....	32

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Struktur biochar.....	6
Gambar 2.2 Spektrum FTIR biochar tongkol jagung	9
Gambar 4.1 Perbandingan fisik biomassa dan biochar	16
Gambar 4.2 Spektrum IR biomassa dan biochar.....	16
Gambar 4.3 Rendemen biochar teraktivasi	18
Gambar 4.4 Spektrum IR biochar dan biochar teraktivasi.....	19
Gambar 4.5 Pengaruh konsentrasi aktivator H_3PO_4 terhadap kadar air	20
Gambar 4.6 Pengaruh konsentrasi aktivator H_3PO_4 terhadap kadar abu	22
Gambar 4.7 Pengaruh konsentrasi aktivator terhadap daya serap iodin	23
Gambar 4.8 Pengaruh waktu kontak (t) terhadap kemampuan adsorpsi (Q_e)	24
Gambar 4.9 Model adsorpsi: (a) monolayer dan (b) multilayer.....	25
Gambar 4.10 Pengaruh konsentrasi nitrat (C_0) terhadap kemampuan adsp (Q_e).	27

DAFTAR TABEL

Tabel 4.1 Kadar air biomassa dan rendemen biochar hasil pirolisis.....	15
Tabel 4.2 Perbandingan data serapan IR pada biomassa dan biochar	17
Tabel 4.3 Perbandingan data serapan IR pada biochar dan biochar teraktivasi....	20
Tabel 4.4 Parameter isothermal adsorpsi model Langmuir dan Freundlich	26

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 3.1 Rancangan Penelitian	32
Lampiran 3.2 Perhitungan	32
Lampiran 4.1 Rendemen Biochar dan Kadar Air Biomassa	32
Lampiran 4.2 Data Rendemen, Kadar Air, Kadar Abu, dan Bilangan Iodin	32
Lampiran 4.3 Scanning Bilangan Gelombang Maksimum dan Kurva Standart ...	32
Lampiran 4.4 Data Waktu Kontak Biochar Teraktivasi	32
Lampiran 4.5 Data Adsorpsi Biochar Teraktivasi	32

BAB 1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Biochar merupakan material kaya karbon yang terbuat dari biomassa melalui proses pirolisis. Pirolisis merupakan proses penguraian termal dengan kondisi tanpa oksigen atau oksigen yang terbatas menggunakan suhu sekitar 250–900°C. Pirolisis yang biasa digunakan pada pembuatan *biochar* yaitu pirolisis lambat (<400°C) dan pirolisis cepat (>600°C). Pirolisis lambat lebih sering dipilih dalam sintesis *biochar* karena menghasilkan *biochar* yang lebih dominan jika dibandingkan pirolisis cepat yang hanya menghasilkan *biochar* sekitar 20% (Subarkhah & Titah, 2023). *Biochar* dapat dibuat menggunakan biomassa limbah pertanian, salah satunya yaitu tongkol jagung. Tongkol jagung dapat dimanfaatkan menjadi *biochar* karena didasarkan pada kandungan lignoselulosa seperti selulosa, hemiselulosa, dan lignin yang dapat terdekomposisi atau terurai melalui proses pirolisis. Darajat et al. (2021) melakukan sintesis *biochar* tongkol jagung dengan pirolisis lambat menggunakan suhu 400°C menghasilkan presentase *fixed carbon* sebesar 68,72%. Hal ini menjadikan *biochar* tongkol jagung dapat dimanfaatkan sebagai adsorben (Sukmawati, 2020). Namun, *biochar* perlu ditingkatkan daya adsorpsinya agar didapatkan hasil yang maksimal. Salah satu cara yang dapat dilakukan untuk meningkatkan luas permukaan *biochar* adalah dengan aktivasi (Dwityaningsih et al., 2023).

Tahap aktivasi merupakan tahapan yang ditujukan untuk memperbesar pori. Aktivasi yang umum dilakukan yaitu aktivasi secara fisika maupun kimia. Metode aktivasi secara fisika dapat dilakukan dengan cara penguapan sedangkan aktivasi secara kimia biasanya menggunakan bahan pengaktif seperti CaCl₂, H₃PO₄, NaOH, dan H₂SO₄ (Hatina & Winoto, 2020). Aktivasi kimia lebih sering digunakan dalam aktivasi *biochar* dibanding aktivasi fisika karena aktivasi fisika memerlukan suhu yang tinggi sekitar 800-1000°C (Ramadhani et al., 2020). Salah satu aktivator yang sering digunakan dalam aktivasi *biochar* adalah H₃PO₄. Agustin (2020) melakukan penelitian terkait aktivasi *biochar* tongkol jagung menggunakan H₃PO₄, didapatkan hasil peningkatkan luas permukaan dari 8,870 m²/g menjadi 23,041 m²/g. Esterlita & Herlina (2015) telah melakukan aktivasi *biochar* dari pelepah aren menggunakan

aktivator $ZnCl_2$, KOH , dan H_3PO_4 dan didapatkan bahwa H_3PO_4 menghasilkan luas permukaan tertinggi yang direpresentasikan dengan bilangan iodin sebesar 767,745 mg/g. Penelitian lainnya juga dilakukan oleh Erawati et al. (2018) terkait pengaruh jenis aktivator terhadap karakteristik dari *biochar* teraktivasi serbuk gergaji kayu sengon menggunakan H_3PO_4 , $NaOH$, dan $NaCl$. Hasilnya didapatkan bahwa H_3PO_4 merupakan aktivator terbaik dengan kadar air, kadar abu, dan daya serap iodin yang berturut-turut sebesar 3,69%, 2,89%, dan 710,64 mg/g. Oleh karena itu, H_3PO_4 banyak digunakan sebagai aktivator karena menghasilkan luas permukaan yang tinggi dengan diameter pori yang besar dan menghasilkan nilai bilangan iodin yang tinggi (Neme et al., 2022). Selain itu, aktivator H_3PO_4 mampu melarutkan pengotor yang menutupi pori karbon, sehingga dapat memperluas permukaan karbon dan pori dari karbon akan menjadi lebih homogen (Agustin, 2020).

Aktivasi *biochar* menjadi *biochar* teraktivasi dipengaruhi oleh beberapa hal diantaranya yaitu jenis aktivator, konsentrasi, dan waktu aktivasi (Ramadhani et al., 2020). Verayana et al. (2018) melakukan penelitian mengenai pengaruh aktivator HCl dan H_3PO_4 terhadap morfologi pori *biochar* teraktivasi dan daya adsorpsi dan didapatkan daya adsorpsi H_3PO_4 sebesar 92,926% dan HCl sebesar 77,81% dengan banyaknya pori yang terbentuk pada *biochar* yang diaktivasi dengan H_3PO_4 . Husin & Hasibuan (2020) juga melakukan studi terhadap aktivasi *biochar* menggunakan H_3PO_4 dengan variasi konsentrasi H_3PO_4 yaitu 30–70% (v/v) dan waktu aktivasi 3, 6, 9, 12, dan 15 jam dan didapatkan hasil paling optimum pada variasi H_3PO_4 30% selama 9 jam dengan luas permukaan pori yaitu 44,472 m²/g. Perdani et al. (2021) telah melakukan aktivasi *biochar* berbahan dasar dari kulit singkong menggunakan variasi konsentrasi H_3PO_4 10–50%, diperoleh hasil optimum pada konsentrasi 30% dengan morfologi permukaan yang didominasi unsur C (55,20%) dan memiliki pola spektra yang mirip dengan *biochar* teraktivasi standard.

Biochar teraktivasi dapat diaplikasikan sebagai adsorben salah satunya untuk adsorpsi ion nitrat. Senyawa ini dapat ditemukan dalam bentuk garam nitrat seperti KNO_3 dan NH_4NO_3 yang secara alami dapat ditemukan pada tanah, udara, dan air. Zhao et al. (2018) telah melakukan penelitian menggunakan *biochar* tongkol jagung untuk mengadsorpsi nitrat dan didapatkan hasil adsorpsi terbaik untuk nitrat berair

dengan kapasitas adsorpsi Langmuir sebesar 14,46 mg/g. Mazarji et al. (2017) telah mengkaji terkait dengan adsorpsi nitrat menggunakan *biochar* teraktivasi dengan variasi dosis adsorben waktu kontak dan dihasilkan kapasitas adsorpsi maksimum sebesar 21,51 mg/g dengan dosis adsorben sebesar 0,4 gram dan waktu kontak pada 120 menit. Penelitian lainnya telah dilakukan oleh Ahmadvand et al. (2018) terkait adsorpsi nitrat dengan variasi massa dan waktu kontak dan diperoleh hasil optimum pada massa 0,4 gram dan waktu kontak 120 menit dengan efisiensi sebesar 25,7%.

Berdasarkan uraian tersebut, maka dilakukan penelitian pembuatan *biochar* teraktivasi dari tongkol jagung yang diaktivasi dengan H_3PO_4 menggunakan variasi konsentrasi 0%, 10%, 20%, 30% dan 40% selama 9 jam. *Biochar* teraktivasi hasil sintesis akan dilakukan karakterisasi meliputi analisis gugus fungsi menggunakan FTIR, kadar air, kadar abu, dan bilangan iodin. Selain itu, uji kapasitas adsorpsi dilakukan menggunakan larutan nitrat sebagai adsorbat dengan massa adsorben 0,4 gram. Data yang diperoleh digunakan untuk menentukan model isotermal adsorpsi.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana pengaruh variasi konsentrasi aktivator H_3PO_4 terhadap karakteristik *biochar* dari tongkol jagung?
2. Bagaimana model isotermal adsorpsi *biochar* teraktivasi terhadap NO_3^- ?

1.3 Tujuan

Tujuan dari penelitian berdasarkan rumusan masalah di atas sebagai berikut:

1. Mengetahui pengaruh variasi konsentrasi aktivator H_3PO_4 terhadap karakteristik *biochar* dari tongkol jagung
2. Mengetahui model isotermal adsorpsi *biochar* teraktivasi terhadap NO_3^-

1.4 Manfaat

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan hasil yang bermanfaat terhadap pengembangan *biochar* yang teraktivasi H_3PO_4 berbahan dasar tongkol jagung yang

memiliki kapasitas adsorpsi serta dapat memberikan informasi mengenai pengaruh konsentrasi aktivator terhadap karakteristik *biochar* teraktivasi.

1.5 Batasan Masalah

Batasan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bahan baku tongkol jagung (pioneer) yang berusia 4 bulan diperoleh melalui sisa hasil pertanian di daerah Ajung, Jember, Jawa Timur.
2. Karakteristik *biochar* teraktivasi yang diamati pada penelitian ini diantaranya yaitu gugus fungsi, kadar air, kadar abu, dan daya serap iodin.

BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tongkol Jagung

Jagung merupakan tanaman monokotil yang termasuk dalam famili *gramea* dan termasuk tanaman jenis padi-padian. Indonesia merupakan salah satu penghasil jagung sekitar 28,9 juta ton per tahun. Tingginya angka produksi jagung ini dapat menyebabkan jumlah limbah tongkol jagung yang besar yaitu sebesar 5,2 juta ton. Oleh karena itu, limbah tongkol jagung perlu dimanfaatkan menjadi sesuatu yang bermanfaat. Salah satu cara yang tepat untuk memanfaatkan tongkol jagung secara optimal adalah dengan cara menjadikan tongkol jagung sebagai bahan dasar pada pembuatan *biochar* teraktivasi (Gunawan et al., 2020).

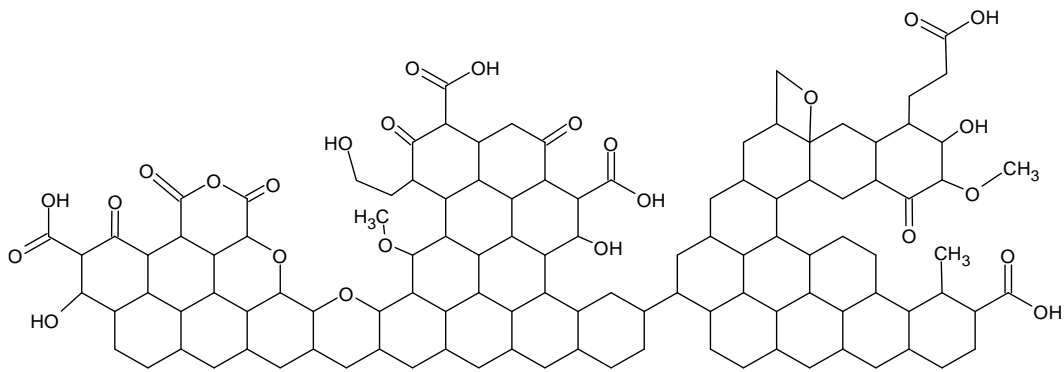
Pemanfaatan tongkol jagung sebagai bahan dasar dalam pembuatan *biochar* teraktivasi didasarkan pada kandungan senyawa karbon diantaranya selulosa 41%, hemiselulosa 36%, dan lignin 16%. Kandungan tersebut mampu mengindikasikan bahwa tongkol jagung dapat dijadikan *biochar* teraktivasi dan memiliki kandungan karbon yang tinggi (Iskandar & Rofiatin, 2017). Selain itu, tongkol jagung memiliki kelebihan diantaranya yaitu berpotensi sebagai adsorben yang baik karena memiliki kandungan karbon yang lebih tinggi, mudah didapat, melimpah, mudah digunakan dan memiliki biaya produksi yang relatif rendah (Meilianti, 2020).

Dalam pemanfaatannya, *biochar* tongkol jagung dapat dimanfaatkan sebagai adsorben ketika sudah dijadikan *biochar* teraktivasi melalui tahapan yaitu aktivasi. *Biochar* tongkol jagung yang telah diaktivasi ini biasanya dijadikan adsorben untuk mengurangi emisi gas buang kendaraan bermotor (Gunawan et al., 2020), adsorben untuk limbah cair tahu (Mantong et al., 2018), dan adsorben nitrat dalam air (Zhao et al., 2018). Selain itu, *biochar* tongkol jagung teraktivasi dapat digunakan sebagai adsorben untuk logam-logam seperti Pb (Agustin, 2020) dan Cu (Yuniarti, 2015).

2.2 *Biochar* Teraktivasi

Biochar merupakan material kaya karbon yang terbuat dari biomassa melalui proses pirolisis. Pirolisis merupakan proses penguraian termal dengan kondisi tanpa oksigen atau oksigen yang terbatas menggunakan suhu sekitar 250–900°C. Pirolisis

yang biasa digunakan pada pembuatan *biochar* yaitu pirolisis lambat ($<400^{\circ}\text{C}$) dan pirolisis cepat ($>600^{\circ}\text{C}$). Pirolisis lambat lebih sering dipilih dalam sintesis *biochar* karena menghasilkan *biochar* yang lebih dominan jika dibandingkan pirolisis cepat yang hanya menghasilkan *biochar* sekitar 20% (Subarkhah & Titah, 2023). *Biochar* mengandung karbon yang tinggi tergantung pada jenis bahan baku yang digunakan pada saat sintesisnya. Bahan baku yang biasa digunakan diantaranya biomassa dari tumbuhan seperti kulit biji kopi, tempurung kelapa, sekam padi, dan tongkol jagung (Meilianti, 2020). Secara umum *biochar* mengandung unsur kimia berupa C, O, dan H yang secara kimia terikat dan membentuk gugus-gugus seperti karboksil, fenol, dan eter. Struktur dari *biochar* dapat dilihat seperti pada Gambar 2.1. *Biochar* dapat dijadikan sebagai adsorben dengan cara yaitu diaktivasi menjadi *biochar* teraktivasi (Yuniarti, 2015).



Gambar 2.1 Struktur *biochar*
(Sumber: Subandriyo, 2003)

Biochar teraktivasi merupakan *biochar* yang telah ditingkatkan daya adsorpsi melalui aktivasi, sehingga memiliki luas permukaan yang besar dan juga daya serap yang lebih baik. *Biochar* teraktivasi dibuat melalui proses pirolisis yang dilanjutkan dengan proses aktivasi. Aktivasi yang umum digunakan yaitu aktivasi secara fisika dan kimia. Aktivasi secara fisik dilakukan dengan cara memutus ikatan karbon dari senyawa organik pada suhu tinggi dengan bantuan gas atau uap, sedangkan aktivasi secara kimia biasanya menggunakan bahan pengaktif seperti CaCl_2 , H_3PO_4 , NaOH , dan H_2SO_4 (Hatina & Winoto, 2020). Aktivasi pada *biochar* bertujuan untuk dapat memperbesar ukuran pori dengan memecah ikatan hidrokarbon atau mengoksidasi

molekul pada permukaannya dan mempengaruhi daya adsorpsi *biochar* teraktivasi tersebut dan dapat dijadikan sebagai adsorben (Ramadhani et al., 2020).

Biochar teraktivasi dapat digunakan sebagai adsorben salah satunya sebagai adsorpsi ion nitrat. Mazarji et al. (2017) telah melakukan penelitian terkait dengan pengaruh dosis adsorben dan waktu kontak terhadap kapasitas adsorpsi nitrat dan menggunakan *biochar* tempurung kelapa yang teraktivasi dan dihasilkan kapasitas adsorpsi maksimum sebesar 21,51 mg/g dengan dosis adsorben sebesar 0,4 gram dan waktu kontak pada 120 menit dengan menggunakan model isoterm Langmuir. Phuong Tran et al. (2022) telah melaporkan hasil penelitian mengenai uji adsorpsi ion nitrat menggunakan *biochar* dari kayu *Mimosa pigra* yang termodifikasi Al dari KNO_3 yang dimodelkan dengan isoterm Langmuir dan Freundlich dan didapatkan hasil kapasitas adsorpsi maksimum ion nitrat adalah sebesar 31,80 mg/g.

Kualitas *biochar* teraktivasi yang disintesis dari biomassa dapat dipengaruhi oleh berbagai faktor. Hal ini tidak lepas dari adanya pengaruh-pengaruh yang dapat memberikan perbedaan pada hasil yang didapat. Faktor-faktor yang mempengaruhi kualitas *biochar* teraktivasi diantaranya kadar air, kadar abu, dan daya serap iodine.

a. Kadar air

Penetapan kadar air ditujukan untuk mengetahui sifat higroskopis *biochar* teraktivasi dan dapat digunakan untuk menentukan kualitasnya. Penetapan kadar air juga bertujuan untuk mengetahui jumlah kadar air yang teruapkan pada proses pemanasan atau aktivasi. Semakin rendah kadar air, maka semakin memaksimalkan kemampuan adsorpsi. Kadar air maksimal dalam *biochar* teraktivasi menurut SNI 06-3730-1995 yaitu sebesar 15%. Kadar air yang terkandung dapat dihitung dengan menggunakan rumus:

$$\text{kadar air}(\%) = \frac{m_1 - m_2}{m_1} \times 100\% \quad (2.1)$$

dimana:

m_1 = massa awal (gram)

m_2 = massa setelah konstan (gram) (Dwityaningsih et al., 2023)

b. Kadar Abu

Penentuan kadar abu ditujukan untuk mengetahui sisa-sisa mineral yang tidak hilang pada proses pirolisis dan tidak mengandung unsur karbon. Zat-zat mineral

tersebut merupakan pengotor yang dapat menyumbat pori-pori *biochar*, sehingga menghambat kemampuan dalam adsorpsi. Kadar abu maksimal yang terkandung dalam *biochar* teraktivasi menurut SNI 06-3730-1995 tentang persyaratan kualitas kadar abu serbuk adalah 10%. Kadar abu yang terkandung dapat dihitung dengan menggunakan rumus:

$$\text{kadar abu (\%)} = \frac{D}{B} \times 100\% \quad (2.2)$$

dimana:

D = massa sampel sebelum pengabuan (gram)

B = massa sampel setelah pengabuan (gram) (Verayana et al., 2018)

c. Daya Serap Iodin

Penentuan daya serap iodin *biochar* teraktivasi ditujukan untuk mengetahui kemampuan *biochar* teraktivasi dalam menyerap larutan berwarna. Berdasarkan SNI 06-3730-1995, daya serap iodin minimum pada *biochar* sebesar 750 mg/g. Daya serap iodin dapat dihitung dengan menggunakan rumus:

$$\text{Daya serap iod} = \frac{(N_{I_2} \times 126,93 \times V_{I_2}) - \left[\frac{(V_{I_2} + V_{HCl})}{V_f} \right] \times (N_{Na_2S_2O_3} \times 126,93) \times V_{Na_2S_2O_3}}{M_c} \quad (2.3)$$

dimana:

N I₂ = normalitas larutan I₂

V I₂ = volume larutan I₂ (mL)

V HCl = volume larutan HCl 5% (mL)

V_f = volume iodin yang dititrasi (mL)

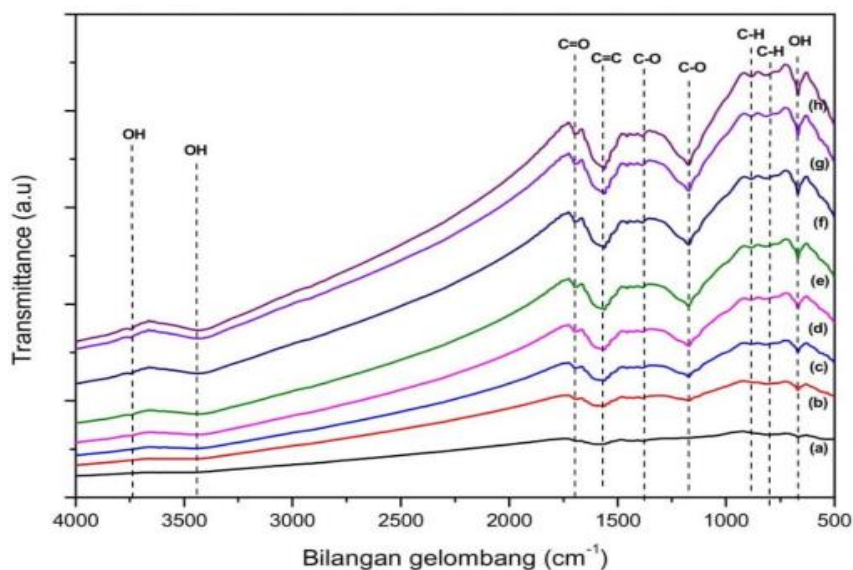
N Na₂S₂O₃ = normalitas larutan Na₂S₂O₃

V Na₂S₂O₃ = volume larutan Na₂S₂O₃ yang dibutuhkan (mL)

M_c = massa *biochar* teraktivasi yang digunakan (gram)

2.3 Fourier Transform Infra-Red (FTIR)

Fourier Transform Infra-Red (FTIR) merupakan suatu spektroskopi *infrared* yang menggunakan teknik absorpsi dari spektrum elektromagnetik yang nantinya akan menghasilkan spektrum. Spektroskopi IR digunakan untuk mengidentifikasi gugus fungsi dan senyawa-senyawa organik. Prinsip spektroskopi IR didasarkan pada tingkat energi getaran (vibrasi) atom yang berikatan dalam molekul dengan mengadsorpsi radiasi gelombang elektromagnetik (Agustin, 2020).



Gambar 2.2 Spektrum FTIR *biochar* tongkol jagung
(Sumber: Agustin, 2020)

Agustin (2020) telah melakukan analisis *biochar* tongkol jagung dan *biochar* tongkol jagung yang diaktivasi H_3PO_4 menggunakan FTIR dengan rentang bilangan gelombang $500 \text{ cm}^{-1} - 4000 \text{ cm}^{-1}$. Hasilnya didapatkan seperti pada gambar 2.1 dan dihasilkan 5 pita serapan yang teridentifikasi dan terjadi sedikit pergeseran transmit yang disebabkan karena adanya penambahan aktivator. Pita serapan yang dimaksud diantaranya yaitu C-O, C=C, C-H, C=O, dan O-H. Pada bilangan gelombang $3700 \text{ cm}^{-1} - 3400 \text{ cm}^{-1}$ dan 600 cm^{-1} terdapat gugus O-H, gugus fungsi C=O terdapat pada bilangan gelombang $1699 \text{ cm}^{-1} - 1693 \text{ cm}^{-1}$. Untuk gugus fungsi C=C terdapat pada bilangan gelombang 1500 cm^{-1} , gugus fungsi C-O terdapat bilangan gelombang di $1300 \text{ cm}^{-1} - 1100 \text{ cm}^{-1}$ dan pada bilangan gelombang $700 \text{ cm}^{-1} - 800 \text{ cm}^{-1}$ terdapat gugus C-H.

2.4 Model Adsorpsi

Adsorpsi merupakan suatu proses penyerapan partikel atau zat ke permukaan suatu zat penyerap. Zat yang biasa digunakan untuk menyerap disebut adsorben. Adsorben biasanya merupakan bahan-bahan berpori yang memiliki luas permukaan yang besar. Ukuran pori dapat diklasifikasikan yaitu menjadi mikropori ($< 2 \text{ nm}$), mesopori ($2 - 50 \text{ nm}$), dan makropori ($> 50 \text{ nm}$) (Astuti et al., 2018).

Adsorpsi pada umumnya akan menimbulkan suatu pola isoterm atau kinetika tertentu yang nantinya akan dijadikan suatu model dalam suatu sistem adsorpsi. Hal ini dapat dibedakan menjadi beberapa model, diantaranya yaitu model isotermal Langmuir dan isotermal Freundlich. Model adsorpsi Langmuir dapat didefinisikan bahwa kapasitas adsorpsi maksimum terjadi akibat adanya lapisan tunggal adsorbat pada permukaan adsorben. Sehingga, adsorpsi tersebut hanya terlokalisasi dengan molekul-molekul zat yang hanya dapat dijerap pada tempat tertentu (Ifa et al., 2021) Kemampuan model adsorpsi isoterm Langmuir dapat ditulis dengan Persamaan 2.4 yang kemudian akan dibuat plot $1/Q_e$ terhadap $1/C_e$ dengan nilai konstanta dihitung melalui konstanta K_L dan Q_m dapat dihitung melalui slope dan intersep.

$$\frac{1}{Q_e} = \frac{1}{Q_m} + \frac{1}{Q_m \cdot K_L} \frac{1}{C_e} \quad (2.4)$$

Isoterm adsorpsi Freundlich merupakan model adsorpsi yang menggunakan jenis *multilayer* dimana adsorpsi terjadi pada beberapa lapisan dan ikatannya tidak kuat. Isoterm adsorpsi Freundlich dapat diasumsikan bahwa tidak ada asosiasi pada molekul-molekul adsorbat setelah teradsorpsi dan hanya berlangsung mekanisme adsorpsi secara fisik tanpa adanya adsorpsi kimia (Ifa et al., 2021) Kemampuan dari model adsorpsi isotermal Freundlich yang dapat ditulis dengan Persamaan (2.5) dan (2.6) sebagai berikut.

$$Q_e = k \cdot C_e^{1/2} \quad (2.5)$$

$$\log Q_e = \log K_F + \frac{1}{n} \log C_e \quad (2.6)$$

dimana:

Q_e = kemampuan adsorpsi (mg/g)

C_e = konsentrasi sisa adsorbat setelah diadsorpsi (mg/L)

Q_m = kapasitas adsorpsi maksimum adsorben (mg/g)

K_L = konstanta Langmuir (mg/L)

K_F = konstanta Freundlich

n = konstanta adsorpsi (Ragadhita & Nandiyanto, 2021).

BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Tempat dan Waktu Kegiatan

Penelitian ini telah dilakukan di Laboratorium Kimia Fisik, Laboratorium Kimia Analitik, dan Ruang Karakterisasi FTIR Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Jember serta Laboratorium Bahan Jurusan Fisika Fakultas Matematika Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Jember. Penelitian ini akan dilakukan pada bulan Februari sampai bulan September.

3.2 Alat dan Bahan

3.2.1 Alat

Alat yang digunakan pada penelitian ini diantaranya yaitu gelas beaker (50; 100; 1000 mL), gelas ukur (50 dan 100 mL), pipet tetes, pipet mohr (1; 5; 25; 50 mL), *ball* pipet, kertas saring, ayakan 50 dan 60 mesh, batang pengaduk, labu ukur, buret, erlenmeyer, statif, botol semprot, kaca arloji, spatula, corong, desikator, oven, *hot plate*, cawan porselen, neraca massa, alu, mortar, termometer tembak, reaktor pirolisis, *shaker* (B-ONE *Orbital Shaker*), FTIR (*Thermo Scientific Nicolet Is10*), dan *Spectrophotometer* UV-Vis (*Thermo Scientific Genesys 10s*).

3.2.2 Bahan

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini diantaranya yaitu tongkol jagung (Pioneer27), brusin anhidrat 99% (Loba Chemie), HCl 37% (Merck), H₃PO₄ 85% (Smartlab), KNO₃ (Pudak), Iodin (Merck), H₂SO₄ 98% (Merck), Na₂S₂O₃·5H₂O (Merck), KI (Merck), indikator amilum, kertas saring, alumunium foil, dan label.

3.3 Prosedur Penelitian

3.3.1 *Biochar* Teraktivasi

Tongkol jagung yang akan digunakan dibersihkan kemudian tongkol jagung ditimbang sebelum dikeringkan di bawah sinar matahari langsung selama ±3-4 jam. Tongkol jagung ditimbang kembali setelah dijemur dan sebelum dilakukan proses pirolisis untuk mengetahui massanya. Tongkol jagung kemudian dipirolisis dengan reaktor pirolisis (Lampiran 3.1) selama 4 jam pada suhu 280-400°C. Pengecekan

suhu dilakukan menggunakan termometer tembak. *Biochar* hasil pirolisis kemudian ditimbang kembali untuk mengetahui massanya. *Biochar* lalu dihaluskan dengan cara ditumbuk dengan alu dan mortar kemudian diayak menggunakan ayakan ukuran 50 dan 60 mesh dan dihasilkan *biochar* dengan ukuran yang seragam.

Biochar tongkol jagung ukuran 50-60 mesh sebanyak 80 gram direndam dalam larutan H_3PO_4 dengan konsentrasi 0%, 10%, 20%, 30%, dan 40% pada suhu ruang selama 9 jam. Sampel kemudian disaring menggunakan pompa vakum hingga dihasilkan filtrat dengan pH netral. Sampel yang telah disaring tersebut kemudian dipanaskan pada suhu $105^\circ C$ hingga sampel menjadi kering. Sampel tersebut kemudian dikarbonisasi selama 1 jam pada suhu $575^\circ C$ (Sanni et al., 2017). Rancangan penelitian dapat dilihat pada Lampiran (3.1).

3.3.2 Karakteristik *Biochar* Teraktivasi

a. Gugus Fungsi

Uji FTIR (*Fourier Transform Infra Red*) merupakan suatu uji analisa yang digunakan untuk menganalisis gugus fungsi yang terdapat pada *biochar* teraktivasi. Pengujian menggunakan FTIR ini dilakukan pada karbon yang belum dan telah diaktivasi dengan menggunakan H_3PO_4 dengan variasi konsentrasi yang digunakan. Pengujian gugus fungsi menggunakan FTIR dilakukan pada bilangan gelombang $500\text{ cm}^{-1} - 4000\text{ cm}^{-1}$ (Agustin, 2020).

b. Uji Kadar Air

Biochar teraktivasi sebanyak 0,5 gram ditempatkan dalam cawan porselin yang sebelumnya telah dipanaskan selama 30 menit pada suhu $105^\circ C$ dan dicatat massanya. Sampel kemudian dipanaskan dengan oven pada suhu $105^\circ C$ selama 3 jam lalu dimasukkan ke dalam desikator selama 30 menit dan ditimbang kembali. Perlakuan pemanasan, pendinginan, dan penimbangan diulangi hingga dihasilkan berat yang konstan. Kadar air lalu dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan (2.1) (Dwityaningsih et al., 2023).

c. Uji Kadar Abu

Biochar teraktivasi sebanyak 0,5 gram ditempatkan pada cawan porselin yang sebelumnya telah dikeringkan dan ditimbang massanya sebagai massa awal Sampel lalu dikarbonisasi menggunakan *furnace* pada suhu $615^\circ C$ selama 3 jam kemudian

didinginkan pada desikator lalu ditimbang kembali sebagai massa akhir. Kadar abu kemudian dihitung dengan menggunakan Persamaan (2.2) (Verayana et al., 2018).

d. Analisis Bilangan Iodin

Biochar teraktivasi kemudian ditimbang sebanyak 0,2 gram lalu ditambahkan HCl 5% 10 mL lalu dipanaskan selama 30 detik. Campuran kemudian ditambah I₂ 0,1 N sebanyak 100 mL dan diaduk menggunakan *magnetic stirrer* selama 30 detik. Campuran lalu disaring dan diambil filtratnya sebanyak 50 mL. Filtrat lalu dititrasi dengan menggunakan Na₂S₂O₃ 0,1N hingga munculnya warna kuning muda. Filtrat hasil titrasi kemudian ditambahkan beberapa tetes amilum 1% dan dilanjut titrasi sampai warna biru menghilang menjadi larutan tak berwarna. Kadar iod kemudian dihitung menggunakan Persamaan (2.3) (Esterlita & Herlina, 2015).

3.3.3 Uji Daya Adsorpsi

a. Pembuatan Kurva Kalibrasi

Larutan KNO₃ (10-50 ppm) dimasukkan dalam labu ukur 25 mL masing-masing sebanyak 5 mL dan ditambahkan 0,5 mL brusin 2% dan 5 mL H₂SO₄ 98%. Campuran tersebut lalu diencerkan menggunakan akuades hingga tanda batas dan dihasilkan larutan KNO₃ dengan konsentrasi 2, 4, 6, 8, dan 10 ppm. Larutan blanko dibuat dengan mengganti KNO₃ menggunakan akuades. Larutan didiamkan selama ±30 menit. *Scanning* dilakukan pada panjang gelombang 350–500 nm dengan menggunakan spektrofotometer *UV-Vis* untuk mendapatkan panjang gelombang maksimum. Panjang gelombang maksimum tersebut digunakan untuk mengukur larutan dengan variasi konsentrasi yang telah disiapkan sebelumnya. Nilai absorban tersebut digunakan untuk membuat kurva kalibrasi. Kurva kalibrasi dibuat dengan memplotkan hasil absorbansi (sumbu y) dan konsentrasi (sumbu x).

b. Adsorpsi *Biochar* Teraktivasi terhadap NO₃⁻

Biochar teraktivasi sebanyak 0,4 gram dimasukkan ke dalam erlenmeyer 100 mL dan ditambahkan masing-masing sebanyak 50 mL KNO₃ dengan konsentrasi variasi 10, 20, 30, 40, dan 50 ppm. Campuran dimasukkan dalam *shaker* kecepatan 180 rpm selama 10-40 menit. Campuran kemudian disaring. Filtrat sebanyak 5 mL dimasukkan dalam labu ukur 25 mL dan ditambahkan sebanyak 5 mL H₂SO₄ pekat dan 0,5 mL reagen brusin sulfanilat 2%. Campuran diencerkan hingga tanda batas

dan didiamkan selama 30 menit. Larutan tersebut diukur absorbansi dengan panjang gelombang maksimum. Prosedur dilakukan dengan pengulangan sebanyak 3 kali. Absorbansi yang diperoleh digunakan untuk menghitung konsentrasi akhir nitrat dengan memasukkannya pada kurva kalibrasi. Nilai C_e diperoleh dari perhitungan konsentrasi adsorpsi yang dikalikan dengan faktor pengenceran nantinya digunakan untuk menghitung kapasitas adsorpsi dengan memasukkan nilai absorbansi yang diperoleh pada persamaan linear kurva kalibrasi. Kemampuan atau kapasitas dari adsorpsi dapat dihitung menggunakan rumus sebagai berikut.

$$Q_e = \frac{V}{m} \times (C - C_e) \quad (3.1)$$

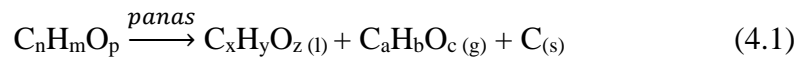
dimana Q_e merupakan kapasitas adsorpsi (mg/gram), V merupakan volume larutan (L), m merupakan massa *biochar* teraktivasi (gram), C merupakan konsentrasi awal nitrat (mol/L), dan C_e merupakan konsentrasi sisa nitrat (mol/L).

Data yang diperoleh digunakan untuk menentukan isoterm Langmuir dan Freundlich. Analisis model isoterm Langmuir dimasukan pada Persamaan 2.4 dan dibuat kurva antara $1/C_e$ (sumbu x) vs $1/Q_e$ (sumbu y). Model isoterm Freundlich dapat diasumsikan berdasarkan pada Persamaan 2.6 dan dibuat kurva antara $\log C_e$ (sumbu x) dengan $\log Q_e$ (sumbu y).

BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 *Biochar* Teraktivasi

Biochar diperoleh melalui proses pirolisis yang berlangsung secara bertahap menggunakan biomassa tongkol jagung. Menurut Herlambang et al., (2021), proses dekomposisi komponen dari biomassa diawali dengan penurunan massa karena kehilangan air pada suhu 100°C, dekomposisi hemiselulosa pada suhu sekitar 200-290°C, dekomposisi selulosa pada suhu sekitar 290-380°C, dan dekomposisi lignin terjadi pada suhu melebihi 380°C. Menurut Rasul & Jahirul (2012), reaksi pirolisis dapat menghasilkan produk yaitu *bio-oil*, gas (H₂, CO, CO₂, H₂O, dan CH₄) dan karbon seperti pada persamaan (4.1).



Tabel 4.1 Kadar air biomassa dan rendemen *biochar* hasil pirolisis

Kadar Air (%)		Rendemen (%)
Tongkol Jagung	<i>Biochar</i>	
12,82	2,78	39,37

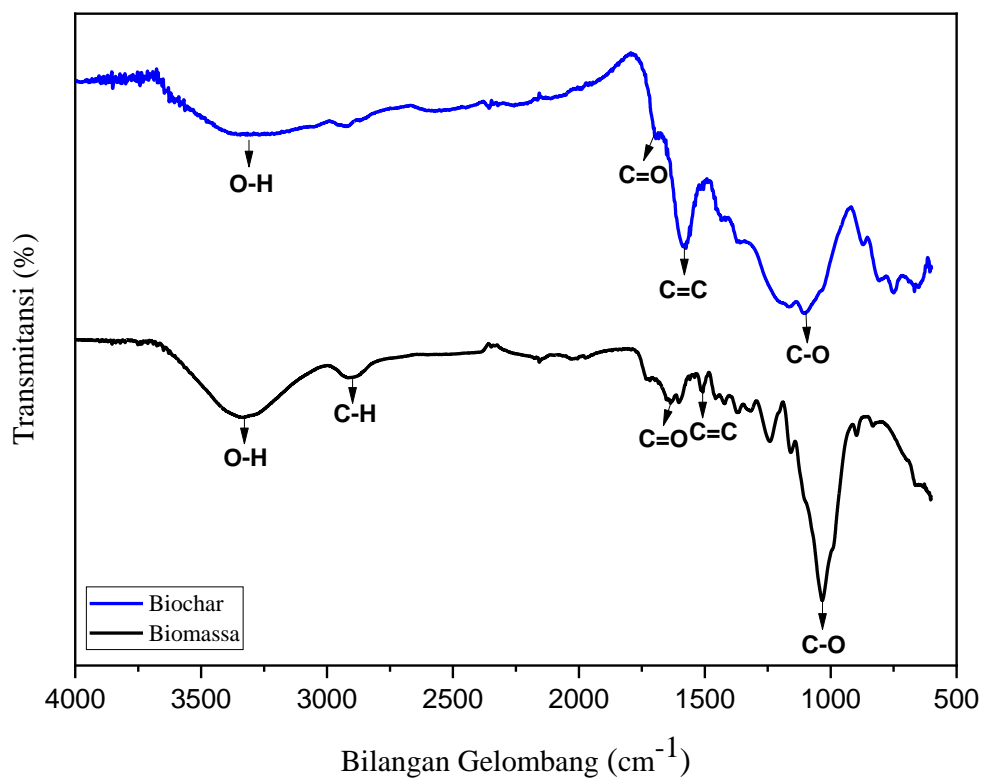
Tabel 4.1 menunjukkan kadar air biomassa dan *biochar* serta nilai rendemen. *Biochar* hasil dari pirolisis memiliki rendemen 39,37% dan kadar air 2,78%. Hasil rendemen tersebut sesuai dengan Brown (2021), bahwa pirolisis lambat mampu menghasilkan nilai rendemen *biochar* sekitar 25–45%. Selain itu, kadar air biomassa sebelum dan setelah pirolisis mengalami penurunan karena pada suhu 200-400°C terjadi proses pelepasan molekul air yang terikat dan terserap pada biomassa tongkol jagung yang mampu menghasilkan uap air dan gas-gas dengan berat molekul rendah.

Biomassa dan *biochar* hasil pirolisis memiliki perbedaan salah satunya dari segi warna. Biomassa mengalami perubahan warna dari putih kekuningan menjadi warna kehitaman yang diikuti dengan penurunan massa. Perubahan warna ini dapat terjadi karena adanya proses dekomposisi komponen lignoselulosa dari biomassa yang mengalami degradasi termal pada saat proses pirolisis. Selain itu, warna yang lebih gelap ini menandakan bahwa *biochar* mengandung karbon yang lebih tinggi.



Gambar 4.1 Perbandingan fisik biomassa dan biochar

Keberhasilan proses pirolisis yang telah dilakukan dapat diketahui dengan melakukan analisis menggunakan FTIR. Analisis bertujuan untuk membandingkan gugus fungsi yang terdapat pada biomassa maupun *biochar* yang dilakukan baik sebelum maupun sesudah proses pirolisis.



Gambar 4.2 Spektrum IR biomassa dan *biochar*

Gambar 4.2 menunjukkan bahwa terjadi penurunan intensitas serapan pada biomassa setelah diubah menjadi *biochar*. Penurunan ini dapat disebabkan karena adanya proses dekomposisi termal pada saat proses pirolisis. Penurunan intensitas

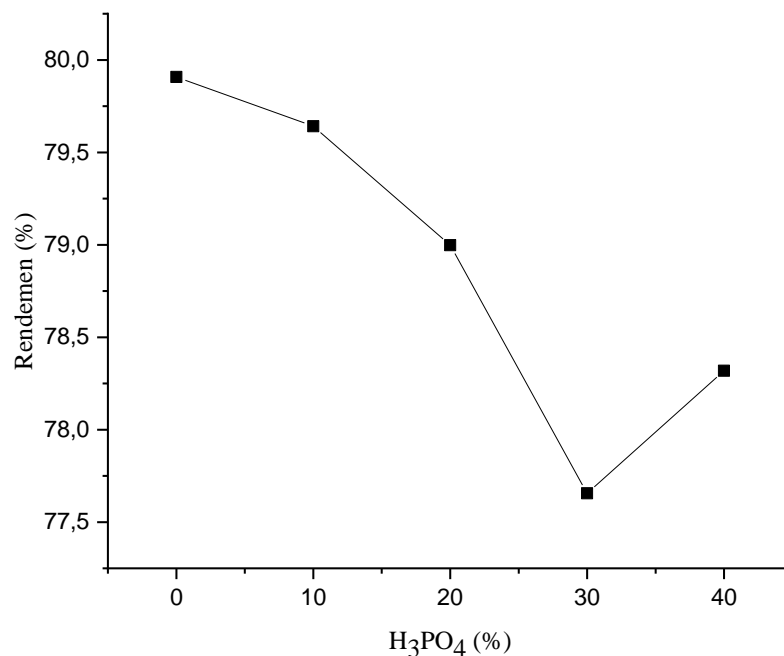
serapan gugus O-H pada bilangan gelombang $\sim 3335 \text{ cm}^{-1}$ menunjukkan terjadinya degradasi komponen lignin, selulosa, dan hemiselulosa yang terjadi pada biomassa. Selain itu proses pirolisis berkaitan dengan pemanasan yang mengakibatkan adanya penguapan air yang terikat pada biomassa, sehingga menurunkan intensitas serapan. Penurunan intensitas juga terjadi pada gugus fungsi C=O, C=C, dan C-O sehingga mengubah profil spektrum FTIR. Penurunan intensitas pada gugus fungsi C-O ini dapat disebabkan karena terjadi dehidrasi dan pemutusan ikatan C-O pada selulosa dan lignin yang menghasilkan produk sampingan seperti CO_2 dan H_2O . Penurunan intensitas pada C=C disebabkan oleh dehidrasi intramolekular pada selulosa yang mendukung pembentukan gugus benzena penyusun pada karbon (Al Ayubi, 2018). Sedangkan, gugus C-H alifatik hilang setelah dikonversi menjadi *biochar*. Hal ini disebabkan karena adanya pemutusan ikatan C-H alifatik akibat suhu tinggi saat pirolisis. Selain itu, hilangnya gugus C-H alifatik pada konversi *biochar* mampu memberikan stabilitas pada karbon yang lebih tinggi karena membentuk struktur aromatik yang lebih stabil. Berdasarkan analisis FTIR ini, dapat ditunjukkan bahwa konversi biomassa menjadi *biochar* melalui proses pirolisis ini berhasil dilakukan. Perbandingan data serapan IR biomassa dan *biochar* dapat dilihat pada Tabel 4.2.

Tabel 4.2 Perbandingan data serapan IR pada biomassa dan *biochar*

Bilangan Gelombang (cm^{-1})		Gugus Fungsi
Biomassa	<i>Biochar</i>	
~ 3335	~ 3350	O-H
~ 2917	-	C-H alifatik
~ 1635	~ 1694	C=O
~ 1507	~ 1574	C=C
~ 1033	~ 1104	C-O

Biochar hasil pirolisis selanjutnya diaktivasi menggunakan aktivator H_3PO_4 . Hal ini bertujuan untuk meningkatkan luas permukaan dan diameter pori, sehingga mampu meningkatkan kemampuan adsorpsi (Agustin, 2020). Proses aktivasi pada *biochar* ini menggunakan variasi konsentrasi yaitu 0%, 10%, 20%, 30%, dan 40%. Proses aktivasi dilakukan dengan merendam *biochar* dengan larutan H_3PO_4 selama 9 jam. Hal ini didasarkan pada penelitian yang telah dilakukan Husin & Hasibuan (2020) yang menyatakan bahwa hasil paling optimum aktivasi *biochar* yaitu selama 9 jam. *Biochar* yang telah diaktivasi atau direndam selama 9 jam tersebut kemudian

disaring dan dicuci menggunakan akuades hingga memiliki pH netral. Pencucian ini bertujuan untuk menghilangkan sisa H_3PO_4 yang masih menempel pada *biochar*. Pengecekan pH dilakukan dengan menggunakan pH meter pada filtrat hingga pH mencapai angka 7. Selanjutnya, *biochar* dipanaskan menggunakan oven pada suhu $105^\circ C$ untuk menghilangkan sisa air pada saat proses aktivasi. *Biochar* yang telah dipanaskan tersebut kemudian diberikan perlakuan termal dengan menggunakan *furnace* pada suhu $575^\circ C$ selama 1 jam. Perlakuan ini bertujuan menghilangkan zat-zat volatil yang masih terkandung dalam *biochar* setelah proses aktivasi. Selain itu pemanasan suhu tinggi ini mampu membuka pori-pori *biochar* serta meningkatkan luas permukaan pada *biochar*.



Gambar 4.3 Rendemen biochar teraktivasi

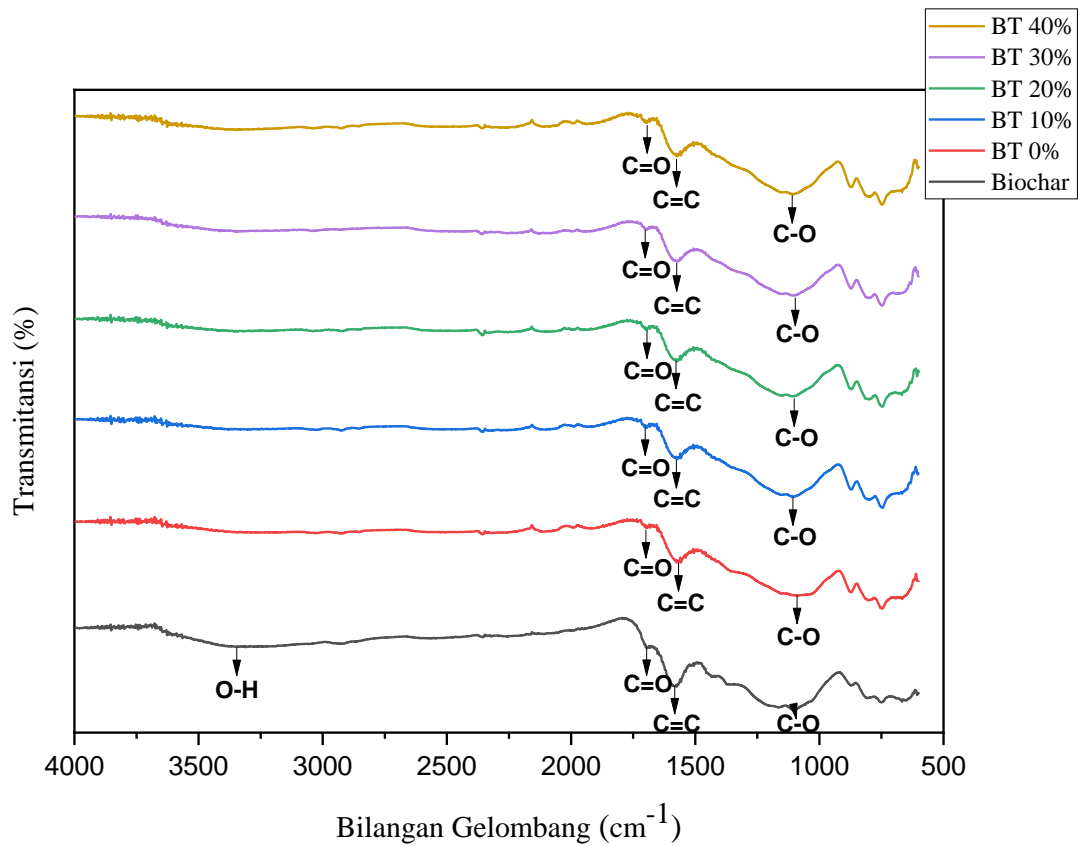
Gambar 4.3 menunjukkan bahwa semakin meningkatnya konsentrasi H_3PO_4 maka akan menurunkan nilai rendemen. Hal ini disebabkan oleh aktivator H_3PO_4 dapat berperan sebagai agen penghidrasi dan mengakibatkan terjadinya pengikatan molekul air pada *biochar*. Selain itu, konsentrasi aktivator yang semakin tinggi ini dapat memperbesar pori pada *biochar* sehingga memungkinkan untuk membentuk struktur mikro yang lebih poros dengan luas permukaan yang lebih tinggi karena lebih banyaknya penguraian zat-zat organik yang tidak diinginkan. Namun, pada konsentrasi 40% terjadi kenaikan nilai rendemen jika dibandingkan dengan H_3PO_4

30%. Hal ini dapat disebabkan oleh masih adanya sisa aktivator yang terperangkap dalam pori *biochar*, sehingga kandungan zat-zat organik atau mineral oksida yang terperangkap tidak dapat terurai dan membuat nilai rendemen mengalami kenaikan.

4.2 Karakteristik *Biochar* Teraktivasi

4.2.1 Analisis Gugus Fungsi menggunakan FTIR

Analisis gugus fungsi selanjutnya dilakukan setelah *biochar* diaktivasi. Hal tersebut dilakukan untuk mengetahui ada atau tidaknya perubahan pada intensitas serapan yang mengindikasikan perubahan gugus fungsi yang terjadi. Spektrum IR *biochar* dan *biochar* teraktivasi dapat dilihat pada Gambar 4.4 yang diperjelas pada Tabel 4.3.



Gambar 4.4 Spektrum IR *biochar* dan *biochar* teraktivasi

Gambar 4.4 menunjukkan bahwa proses aktivasi mengakibatkan hilangnya gugus O-H dan perubahan bentuk puncak serapan pada gugus C=O. Hal ini dapat disebabkan karena proses aktivasi. Hilangnya gugus O-H setelah aktivasi dapat

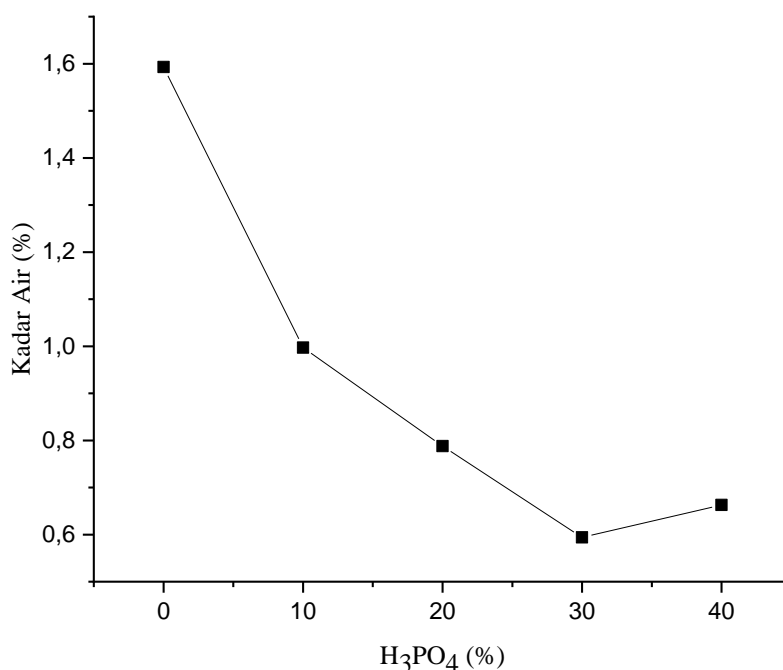
disebabkan oleh adanya pemanasan suhu tinggi setelah proses perendaman dengan aktivator. Selain itu, aktivasi yang dilakukan dengan menggunakan H_3PO_4 dapat mengubah porositas dan luas permukaan *biochar* yang mampu mengubah intensitas serta ketajaman puncak serapan pada spektrum FTIR. Adanya pengaruh porositas dan luas permukaan juga dapat menyebabkan distribusi gugus fungsi menjadi lebih heterogen sehingga membuat tampak kurang tajam (Agustin, 2020). Analisis juga dilakukan pada *biochar* sebelum dan setelah dilakukan aktivasi.

Tabel 4.3 Perbandingan data serapan IR pada *biochar* dan *biochar* teraktivasi

<i>biochar</i>	Bilangan Gelombang (cm^{-1})					Gugus Fungsi
	0%	10%	20%	30%	40%	
~3350	-	-	-	-	-	O-H
~1694	~1692	~1692	~1692	~1692	~1692	C=O
~1574	~1574	~1574	~1574	~1574	~1574	C=C
~1104	~1104	~1104	~1104	~1104	~1104	C-O
~747	~747	~747	~746	~747	~746	C-H aromatik

4.2.2 Kadar Air

Kadar air dilakukan untuk mengetahui kandungan air yang masih tersisa pada karbon aktif setelah proses aktivasi (Hatibie et al., 2022). Menurut SNI 06-3730-1995 disebutkan bahwa kadar air maksimum dalam *biochar* yaitu sebesar 15%. Hasil pengujian kadar air pada *biochar* teraktivasi dapat dilihat pada Gambar 4.5.



Gambar 4.5 Pengaruh konsentrasi aktivator H_3PO_4 terhadap kadar air

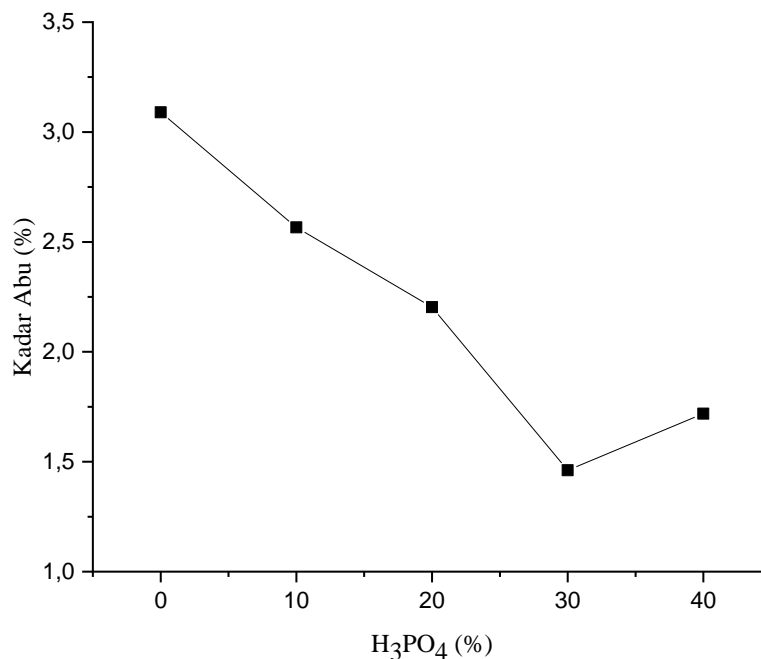
Gambar 4.5 menunjukkan bahwa kadar air dihasilkan semakin rendah seiring dengan meningkatnya konsentrasi aktivator H_3PO_4 . Kadar air terendah diperoleh *biochar* dengan konsentrasi 30%. Hal ini dikarenakan konsentrasi aktivator yang lebih tinggi mampu membentuk pori yang semakin besar, sehingga kandungan air yang masih terperangkap pada *biochar* lebih mudah menguap ketika dilakukan pemanasan dengan menggunakan *furnace*. Namun, kadar air mengalami kenaikan pada konsentrasi H_3PO_4 40%. Peningkatan ini dapat terjadi karena adanya sisa aktivator yang masih terperangkap dalam pori, sehingga pori *biochar* mengalami kerusakan dan mengakibatkan semakin kecil luas permukaan *biochar* (Fiqriawan et al., 2023). Hasil analisa kadar air pada *biochar* teraktivasi secara keseluruhan telah memenuhi persyaratan SNI 06-3730-1995 yaitu maksimum 15%.

4.2.3 Kadar Abu

Kadar abu dilakukan untuk dapat mengetahui kandungan mineral-mineral yang tidak dapat menguap dan tidak mudah terbakar yang terdapat dalam *biochar*. Kadar abu dapat mempengaruhi kemampuan adsorpsi *biochar*. Hal ini dikarenakan kadar abu berpengaruh terhadap luas permukaan *biochar* sebagai akibat dari adanya penyumbatan pori pada *biochar* (Herlambang et al., 2021). Menurut persyaratan SNI 06-3730-1995 disebutkan bahwa kadar abu maksimal pada *biochar* yaitu 10%. Hasil pengujian kadar abu *biochar* teraktivasi dapat dilihat pada Gambar 4.6.

Berdasarkan hasil yang ditunjukkan oleh Gambar 4.6, diperoleh bahwa kadar abu mengalami penurunan seiring dengan meningkatnya konsentrasi aktivator. Hal ini dapat dilihat dari menurunnya nilai kadar abu dari konsentrasi 0-30%. Hal ini dikarenakan konsentrasi aktivator yang meningkat akan membentuk pori-pori pada *biochar* yang semakin besar, sehingga kandungan abu yang terdapat pada *biochar* akan lebih mudah menguap dan dapat menurunkan nilai dari kadar abu. Namun, pada konsentrasi 40% nilai kadar abu mengalami kenaikan. Hal ini tidak sesuai dengan literatur yang menyatakan bahwa semakin tinggi konsentrasi aktivator maka nilai kadar abu akan semakin menurun. Kenaikan kadar abu pada konsentrasi 40% dapat disebabkan karena masih adanya sisa aktivator yang terperangkap dalam pori. Hal ini menyebabkan kerusakan pada pori *biochar* sehingga kandungan mineral oksida yang terperangkap tidak menguap secara maksimal dan membuat nilai kadar

abu mengalami kenaikan (Fiquriawan et al., 2023). Hasil dari analisa kadar abu pada *biochar* teraktivasi secara keseluruhan telah memenuhi persyaratan SNI 06-3730-1995 yaitu maksimum 10%.

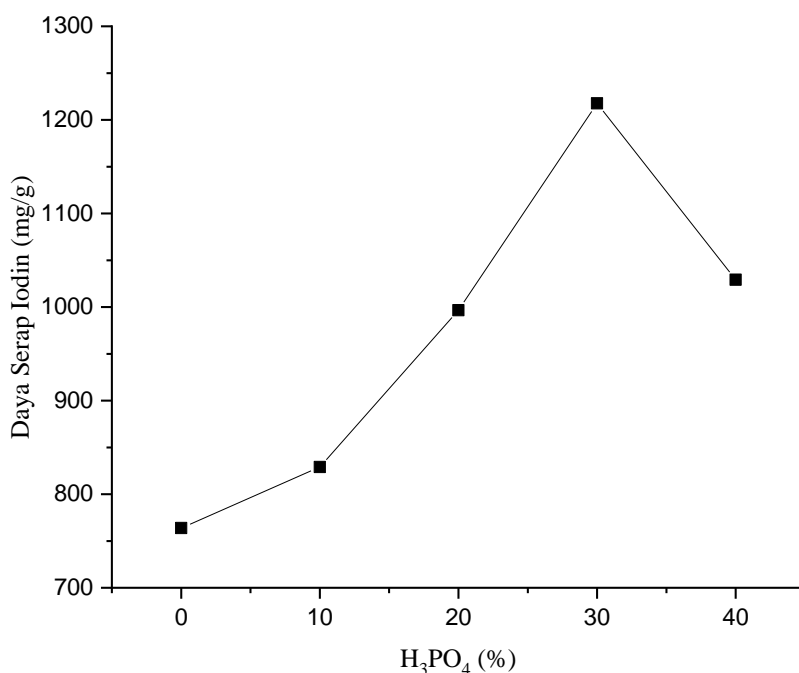


Gambar 4.6 Pengaruh konsentrasi aktivator H₃PO₄ terhadap kadar abu

4.2.4 Bilangan Iodin

Bilangan iodin dilakukan untuk menunjukkan jumlah iodin yang mampu diserap oleh 1 gram *biochar* teraktivasi. Nilai bilangan iodin yang semakin tinggi dapat menandakan bahwa kapasitas adsorpsi yang terjadi akan semakin besar (Pamungkas et al., 2022). Menurut persyaratan SNI 06-3730-1995, daya serap iodin minimum pada *biochar* teraktivasi yaitu 750 mg/g. Hasil pengukuran bilangan iodin *biochar* teraktivasi dapat dilihat pada Gambar 4.7 dan diketahui nilai bilangan iodin mengalami kenaikan seiring dengan meningkatnya konsentrasi dari aktivator. Hal ini terlihat dari meningkatnya nilai bilangan iodin pada konsentrasi 0-30% karena konsentrasi aktivator yang semakin tinggi mampu membentuk permukaan pori yang lebih besar (Pamungkas et al., 2022). Selain itu, nilai bilangan iodin juga dapat dipengaruhi oleh hasil dari analisis kadar abu, dimana nilai kadar abu yang semakin rendah akan mampu meningkatkan nilai dari bilangan iodin yang dihasilkan (Oko et al., 2021). Namun, terjadi penurunan nilai bilangan iodin pada konsentrasi 40% yang dapat disebabkan karena masih adanya sisa aktivator atau kandungan mineral

oksida yang terperangkap dalam pori dan tidak dapat menguap secara maksimal sehingga menyebabkan penyumbatan pada pori *biochar*. Hal ini dapat menurunkan luas permukaan pori pada *biochar*, sehingga menyebabkan berkurangnya ruang pada permukaan *biochar* untuk dapat ditempati oleh iodin dan membuat penurunan nilai bilangan iodin (Fiquriawan et al., 2023). Hasil analisa dari bilangan iodin pada *biochar* teraktivasi secara keseluruhan telah memenuhi standar SNI 06-3730-1995 yaitu minimal 750 mg/g.



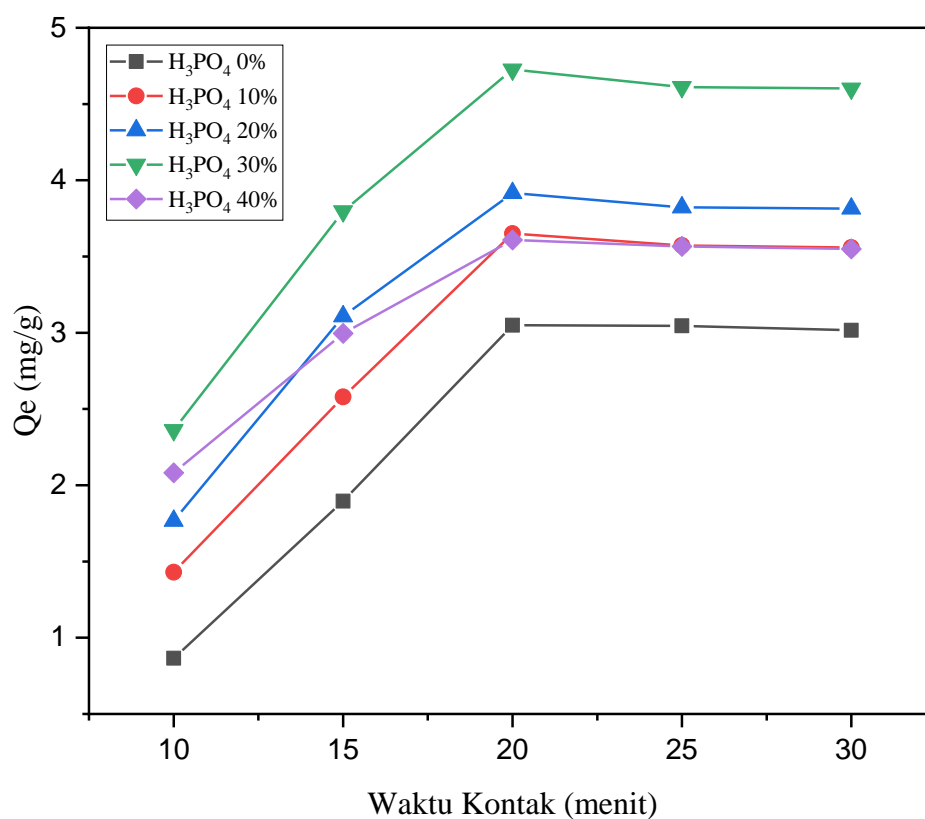
Gambar 4.7 Pengaruh konsentrasi aktivator terhadap daya serap iodin

4.3 Studi Adsorpsi *Biochar* Teraktivasi terhadap Nitrat

4.3.1 Waktu Kontak

Waktu kontak merupakan suatu parameter penting di dalam proses adsorpsi dan berpengaruh pada jumlah adsorbat yang terserap. Waktu kontak juga digunakan untuk menentukan waktu optimal yang dibutuhkan untuk mencapai kesetimbangan. Kemampuan adsorpsi *biochar* berbanding lurus terhadap waktu kontak, waktu kontak yang semakin lama akan menyebabkan interaksi lebih lama pada molekul adsorbat terhadap permukaan adsorben serta meningkatkan kemampuan adsorpsi (Subarkhah & Titah, 2023). Hasil yang didapatkan dari pengukuran waktu kontak

pada masing-masing konsentrasi dapat dilihat pada Gambar 4.8 yang menunjukkan pengaruh waktu kontak (t) terhadap kemampuan adsorpsi (Q_e) terjadi peningkatan nilai Q_e pada waktu 10-20 menit dan juga kesetimbangan pada waktu 20-30 menit. Nilai Q_e yang meningkat pada menit 10-20 tersebut dapat disebabkan oleh terisinya sebagian permukaan pada *biochar* yang memungkinkan adsorbat untuk terserap secara maksimal. Namun, proses adsorpsi telah mencapai keadaan setimbang pada menit 20-30 menit yang dapat disebabkan oleh telah terisinya permukaan adsorben atau berikatan dengan adsorbat, sehingga tidak terjadi peningkatan pada nilai Q_e meskipun proses adsorpsi tetap dilanjutkan (Subarkhah & Titah, 2023).



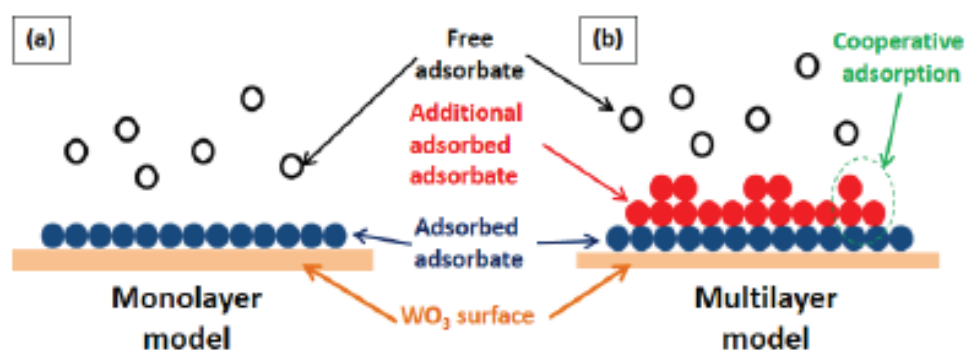
Gambar 4.8 Pengaruh waktu kontak (t) terhadap kemampuan adsorpsi (Q_e)

Berdasarkan Gambar 4.8, waktu setimbang adsorpsi masing-masing *biochar* didapati pada menit 20 dengan kemampuan adsorpsi yang tertinggi terdapat pada konsentrasi H₃PO₄ 30% dan nilai Q_e sebesar 4,7269 mg/g. Konsentrasi 40% tidak menjadi variasi dengan kemampuan adsorpsi tertinggi yang dapat disebabkan oleh terjadinya blokade pori permukaan *biochar* teraktivasi dikarenakan konsentrasi

yang semakin tinggi (Husin & Hasibuan, 2020). Selain itu, kemampuan adsorpsi *biochar* teraktivasi juga berkaitan dengan karakteristik yang meliputi gugua fungsi, kadar air, kadar abu, dan bilangan iodin. Menurut Ambaye et al (2021) proses pada adsorpsi *biochar* teraktivasi hingga mencapai kesetimbangan terjadi melalui tiga tahapan, yaitu nitrat berinteraksi di permukaan secara langsung, lalu menempel di permukaan pori, dan diikuti peningkatan interaksi elektrostatik antara nitrat dengan gugus fungsi pada permukaan *biochar* teraktivasi. Gugus fungsi aktif yang terdapat pada *biochar* teraktivasi berdasarkan hasil analisis gugus fungsi antara lain C=O, -COOH dan C-O-C. Gugus fungsi -COOH dapat langsung berinteraksi dengan nitrat dikarenakan bersifat polar dikarenakan O memiliki elektronegativitas yang lebih jika dibandingkan dengan elektronegativitas H. Hal ini yang menyebabkan adanya interaksi ion-dipole antara permukaan *biochar* teraktivasi dengan nitrat.

4.3.2 Model Isotermal Adsorpsi

Isotermal adsorpsi merupakan hubungan yang menggambarkan antara jumlah adsorbat yang teradsorpsi pada permukaan adsorben dengan konsentrasi adsorbat pada suhu konstan. Asumsi isotermal adsorpsi yang digunakan pada penelitian kali ini yaitu model isotermal Langmuir dan model isotermal Freundlich yang dilakukan dengan memodelkan data isotermal menggunakan analisa linier sebagai pendekatan matematis. Analisis linier ini digunakan karena dapat menganalisis sistem adsorpsi yang terjadi dan menggambarkan distribusi adsorbat. Ilustrasi dari model adsorpsi Langmuir dan Freundlich dapat dilihat pada Gambar 4.9.

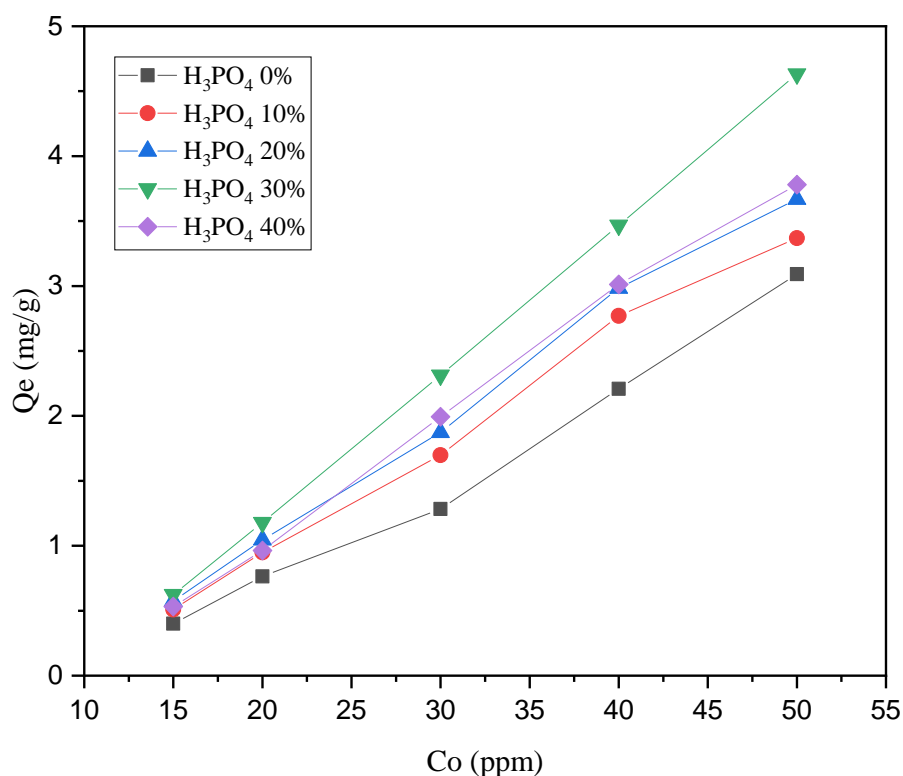


Gambar 4.9 Model adsorpsi: (a) *monolayer* dan (b) *multilayer*

(Sumber : Nandiyanto et al., 2020)

Proses adsorpsi pada *biochar* teraktivasi dapat dikatakan mengikuti model isotermaal Langmuir jika memenuhi parameter seperti $K_L > 0$, $Q_m > 0$, dan $R^2 > 0,70$. Sedangkan mengikuti model isotermaal Freundlich jika memenuhi parameter seperti $K_F > 0$, $n > 0$, dan $R^2 > 0,70$. Parameter K_L pada parameter Langmuir merupakan nilai konstanta Langmuir yang menunjukkan besarnya derajat interaksi antara adsorben dan adsorbat, semakin tinggi nilai K_L maka menunjukkan semakin kuatnya adsorbat terikat kuat pada permukaan adsorben. Nilai Q_m menunjukkan kapasitas maksimum adsorpsi yang diketahui berdasarkan jumlah maksimum adsorbat yang teradsorpsi dalam satu gram adsorben pada saat kesetimbangan. Nilai K_L dan Q_m yang bernilai negatif pada parameter Langmuir ini mengasumsikan bahwa proses adsorpsi yang terjadi tidak sesuai model Langmuir dan tidak terjadi secara *monolayer*. Sementara, K_F pada parameter Freundlich merupakan konstanta Freundlich yang menunjukkan besarnya derajat interaksi antara adsorben dan adsorbat secara *monolayer*. Nilai n merupakan konstanta adsorpsi dimana nilai $n < 1$ menunjukkan adsorpsi yang terjadi adalah secara kimia, sedangkan nilai $n > 1$ menunjukkan adsorpsi yang terjadi yaitu secara interaksi fisik antar molekul adsorbat dengan adsorben. Nilai $1/n > 1$ pada parameter Freundlich menunjukkan bahwa adanya interaksi antar *biochar* dengan adsorbat yang terjadi secara kooperatif. Parameter R^2 dalam hal penentuan model adsorpsi, apabila memiliki nilai yang sama, maka kedua parameter maka ditentukan dengan nilai regresi yang paling tinggi (Ragadhita & Nandiyanto, 2021).

Penelitian pada model adsorpsi menggunakan larutan nitrat sebagai adsorbat dengan memvariasikannya menjadi beberapa variasi diantaranya yaitu 15; 20; 30; 40 dan 50 ppm. Hasil adsorpsi dengan variasi konsentrasi nitrat ditunjukkan pada Gambar 4.10. Hasil tersebut menunjukkan bahwa kemampuan adsorpsi meningkat seiring dengan meningkatnya konsentrasi adsorbat. Peningkatan dapat disebabkan lebih banyaknya molekul yang dapat berinteraksi pada situs aktif adsorben karena konsentrasi yang lebih tinggi dapat mengakibatkan terisinya lebih banyak situs aktif pada permukaan adsorben (Miri & Narimo, 2022). Kurva hasil dari uji isotermaal adsorpsi Langmuir dan Freundlich dapat dilihat pada Lampiran 4.5 dan parameter dapat diamati pada tabel 4.4.



Gambar 4.10 Pengaruh konsentrasi nitrat (C_o) terhadap kemampuan adsorpsi (Q_e)

Tabel 4.4 Parameter isotermal adsorpsi model Langmuir dan Freundlich

Konsentrasi H ₃ PO ₄	Model Langmuir			Model Freundlich			
	K_L	Q_m	R^2	K_F	$1/n$	n	R^2
0%	-0,034	-0,654	0,9351	0,0008	2,5134	0,3979	0,9763
10%	-0,041	-0,732	0,8872	0,0014	2,5367	0,3942	0,9375
20%	-0,046	-0,726	0,8743	0,0011	2,7162	0,3682	0,9317
30%	-0,076	-0,225	0,8771	0,0038	7,7032	0,1298	0,9817
40%	-0,059	-0,324	0,9677	0,0013	4,9741	0,2010	0,9706

Berdasarkan parameter tersebut, ditunjukkan bahwa nilai K_L dan Q_m masing-masing konsentrasi bernilai negatif yang menunjukkan bahwa interaksi yang terjadi tidak mengikuti model Langmuir dan ditunjukkan pula oleh nilai regresi yang lebih tinggi pada model Freundlich. Sehingga, dapat diasumsikan bahwa model isotermal adsorpsi pada penelitian kali ini yaitu lebih mengikuti model Freundlich dan terjadi secara *multilayer*.

BAB 5. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Konsentrasi aktivator H_3PO_4 berpengaruh terhadap karakteristik *biochar* tongkol jagung teraktivasi. Hasil analisis dari gugus fungsi pada masing-masing *biochar* teraktivasi menunjukkan bahwa keseluruhan memiliki gugus fungsi aktif yaitu C=O, -COOH dan C-O-C. Nilai kadar air dari *biochar* teraktivasi berturut-turut yaitu 1,593%; 0,997%; 0,788%; 0,594% dan 0,663%. Nilai kadar abu *biochar* teraktivasi berturut-turut yaitu 3,114%; 2,608%; 2,133%; 1,533% dan 1,768%. Daya serap iod pada *biochar* teraktivasi berturut-turut yaitu 763,91 mg/g; 829,06 mg/g; 996,61 mg/g; 1217,70 mg/g, dan 1133,90 mg/g. Hasil ini menunjukkan bahwa semakin tinggi konsentrasi H_3PO_4 maka akan menurunkan nilai kadar air dan kadar abu, namun meningkatkan nilai bilangan iod. Konsentrasi terbaik pada penelitian ini didapati pada *biochar* teraktivasi dengan konsentrasi H_3PO_4 30%.
2. Berdasarkan analisis model isothermal adsorpsi diperoleh bahwa adsorpsi nitrat pada seluruh variasi konsentrasi aktivator H_3PO_4 sesuai dengan model isothermal Freundlich atau terjadi secara *multilayer* yang ditunjukkan dengan nilai K_L dan Q_m dari masing-masing konsentrasi bernilai negatif serta nilai regresi lebih tinggi pada model Freundlich.

5.2 Saran

Parameter adsorpsi yang dilakukan pada penelitian ini hanya terbatas pada bilangan iodin saja, maka perlu dilakukan analisis dengan menggunakan *Brunauer Emmett Teller* (BET) dan *Scanning Electrone Microscop* (SEM) untuk mengetahui luas permukaan dari *biochar* teraktivasi serta distribusi pori. Selain itu, konsentrasi H_3PO_4 yang lebih tinggi perlu digunakan pada aktivasi *biochar* untuk memastikan ada tidaknya blokade pori pada *biochar* dan mengetahui kemampuan adsorpsinya.

DAFTAR PUSTAKA

- Agustin, D. A. R. (2020) Pembuatan dan Karakterisasi Karbon Aktif dari Tongkol Jagung dengan Aktivator H_3PO_4 Sebagai Adsorben Logam Timbal (Pb). *Skripsi*: Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim.
- Ahmadvand, M., Soltani, J., Hashemi Garmdareh, S. E., & Varavipour, M. (2018). The Relationship Between The Characteristics of Biochar Produced at Different Temperatures and its Impact on The Uptake of NO_3^-N . *Ehemj*, 5(2), 67–75.
- Al Ayubi, M. F. (2018). *Produk dan Komposisi Gas Hasil Pirolisis Katalitik Serbuk Kayu Mahoni dengan Katalis Zeolit 25%wt*. *Skripsi*: Universitas Brawijaya.
- Ambaye, T., Vaccari, E. D., van Hullebusch, A. V, Amrane, A., & Ritmi, S. (2021). Mechanisms and Adsorption Capacities of Biochar for the Removal of Organic and Inorganic Pollutans from Industrial Wastewater. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 18, 3273–3294.
- Brown, R. C. (2021). Negative Economy. *Processes*, 9(882), 1–17.
- Darajat, Z., Munira, M., Septiani, M., & Aladin, A. (2021). Pengaruh Ukuran Partikel Bahan dan Waktu Penahanan Pada Pirolisis Lambat Limbah Tongkol Jagung Menjadi Bioarang. *Journal of Chemical Process Engineering*, 6(2), 96–102.
- Dwityaningsih, R., Rahayu, T. E. P. S., Handayani, M., & Nurhilal, M. (2023). Pengaruh Variasi Konsentrasi H_3PO_4 Sebagai Zat Aktivator Terhadap Karakteristik Karbon Aktif dari Sekam Padi. *Infotekmesin*, 14(1), 98–104.
- Erawati, E., Fernando, A., Yani, J. A., & Tengah, J. (2018). Pengaruh Jenis Aktivator dan Ukuran Karbon Aktif Terhadap Pembuatan Adsorbent dari Serbuk Gergaji Kayu Sengon (*Paraserianthes falcataria*). In *Jurnal Integrasi Proses*, 7(2).
- Esterlita, M. O., & Herlina, N. (2015). Pengaruh Penambahan Aktivator $ZnCl_2$, KOH , dan H_3PO_4 dalam Pembuatan Karbon Aktif dari Pelepah Aren (*Arenga Pinnata*). *Jurnal Teknik Kimia USU*, 4(1), 47–52.
- Fiqriawan, M. R., Anas, M., & Erniwati. (2023). Efek Variasi Konsentrasi H_3PO_4 Terhadap Kualitas Karbon Aktif Cangkang Kemiri Berdasarkan Analisis Proksimat. *Einstein's Research Journal of Applied Physics*, 1(2), 42–47.
- Gunawan, S., Hasan, H., & Lubis, R. D. W. (2020). Pemanfaatan Adsorben dari Tongkol Jagung sebagai Karbon Aktif untuk Mengurangi Emisi Gas Buang Kendaraan Bermotor. *Jurnal Rekayasa Material, Manufaktur Dan Energi*, 3(1), 38–47.

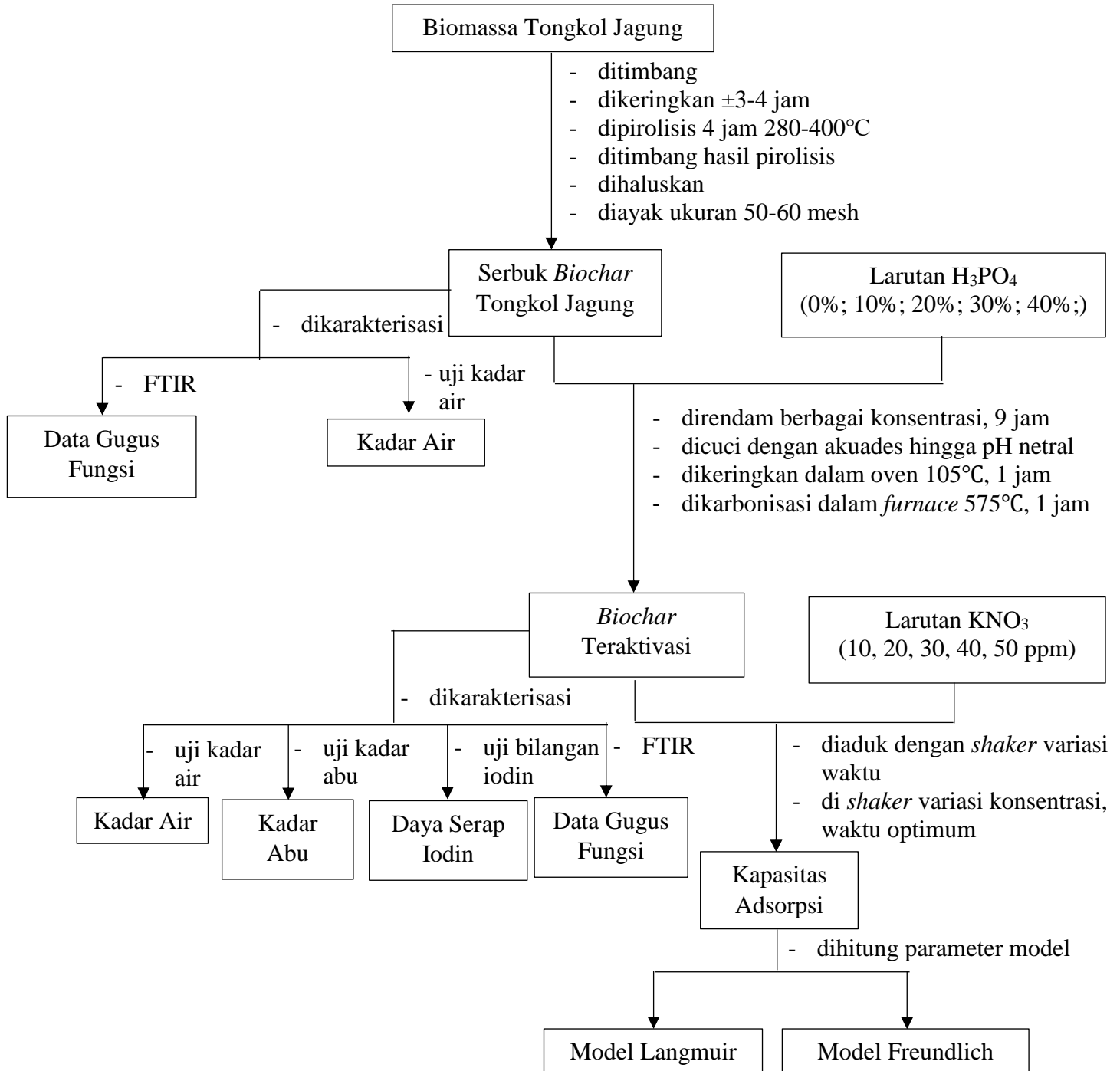
- Hatibie, R. W., Aladin, A., & Ifa, L. (2022). Pembuatan Karbon Aktif Hasil Pirolisis Tongkol Jagung (*Zea Mays* Var. *Ceratina* L.) Menggunakan Aktivator Asam dari Buah Belimbing Wuluh. *Journal of Technology Process*, 2(1), 38–49.
- Hatina, S., & Winoto, E. (2020). Pemanfaatan Karbon Aktif dari Serbuk Kayu Merbau dan Tongkol Jagung sebagai Adsorben untuk Pengolahan Limbah Cair AAS. *Jurnal Redoks*, 5(1), 32.
- Herlambang, S., Yudhiantoro, D., Gomareuzzaman, M., & Lestari, I. (2021). *Biochar Amandemen Tanah dan Mitigasi Lingkungan*.
- Husin, A., & Hasibuan, A. (2020). Studi Pengaruh Variasi Konsentrasi Asam Posfat (H_3PO_4) dan Waktu Perendaman Karbon terhadap Karakteristik Karbon Aktif dari Kulit Durian. *Jurnal Teknik Kimia USU*, 9(2), 80–86.
- Ifa, L., Nurjannah, N., Syarif, T., & Darnengsih, D. (2021). *Bioadsorben dan Aplikasinya*. Yayasan Pendidikan Cendikia Muslim.
- Iskandar, T., & Rofiatin, U. (2017). Karakteristik Biochar Berdasarkan Jenis Biomassa dan Parameter Proses Pyrolisis. *Jurnal Teknik Kimia*, 12(1), 28–34.
- Mazarji, M., Aminzadeh, B., Baghdadi, M., & Bhatnagar, A. (2017). Removal of nitrate from aqueous solution using modified granular activated carbon. *Journal of Molecular Liquids*, 233, 139–148.
- Meilianti, M. (2020). Pembuatan Karbon Aktif dari Arang Tongkol Jagung dengan Variasi Konsentrasi Aktivator Natrium Karbonat (Na_2CO_3). *Jurnal Distilasi*, 5(1), 14-20.
- Miri, N. S. S., & Narimo. (2022). Review : Kajian Persamaan Isoterm Langmuir dan Freundlich pada Adsorpsi Logam Berat Fe (II) dengan Zeolit dan Karbon Aktif dari Biomassa. *Jurnal Kimia Dan Rekayasa*, 2(2), 58–71.
- Nandiyanto, A. B. D., Ragadhita, R., & Yunas, J. (2020). Adsorption Isotherm of Densed Monoclinic Tungsten Trioxide Nanoparticles. *Sains Malaysiana*, 49(12), 2881–2890.
- Neme, I., Gonfa, G., & Masi, C. (2022). Activated carbon from biomass precursors using phosphoric acid: A review. In *Heliyon*, 8(12).
- Oko, S., Mustafa, Kurniawan, A., & Palulun, E. S. B. (2021). Pengaruh Suhu dan Konsentrasi Aktivator HCl terhadap Karakteristik Karbon Aktif dari Ampas Kopipamung. *Metana: Media Komunikasi Rekayasa Proses Dan Teknologi Tepat Guna*, 17(1), 15–21.
- Pamungkas, R. B., Karimah, K., & Puspawiningtiyas, E. (2022). Activation of Carbon Using Microwave-Assisted Hydrochloric Acid for Urea Adsorption. *RiCE: Research in Chemical Engineering*, 1(1), 28–35.

- Perdani, F. P., Riyanto, C. A., & Martono, Y. (2021). Karakterisasi Karbon Aktif Kulit Singkong (*Manihot esculenta Crantz*) Berdasarkan Variasi Konsentrasi H_3PO_4 dan Lama Waktu Aktivasi. *IJCA (Indonesian Journal of Chemical Analysis)*, 4(2), 72–81.
- Phuong Tran, T. C., Nguyen, T. P., Nguyen, T. T., Le, P. C., Tran, Q. B., & Nguyen, X. C. (2022). Equilibrium single and co-adsorption of nutrients from aqueous solution onto aluminium-modified biochar. *Case Studies in Chemical and Environmental Engineering*, 5(1).
- Ragadhita, R., & Nandiyanto, A. B. D. (2021). How to calculate adsorption isotherms of particles using two-parameter monolayer adsorption models and equations. *Indonesian Journal of Science and Technology*, 6(1), 205–234.
- Ramadhani, L. F., Nurjannah, I. M., Yulistiani, R., & Saputro, E. A. (2020). Review: teknologi aktivasi fisika pada pembuatan karbon aktif dari limbah tempurung kelapa. In *Jurnal Teknik Kimia*, 26(2).
- Rasul, M. G., & Jahirul, M. I. (2012). Recent Developments in Biomass Pyrolysis for Bio-Fuel Production: Its Potential for Commercial Applications. *Recent Researches in Environmental and Geological Sciences*, 256–265.
- Sanni, E. S., Emetere, M. E., Odigure, J. O., Efeovbokhan, V. E., Agboola, O., & Sadiku, E. R. (2017). Determination of Optimum Conditions for the Production of Activated Carbon Derived from Separate Varieties of Coconut Shells. *International Journal of Chemical Engineering*, 2017, 1–16.
- Subandriyo, M. (2003). *Generalized Ono-Kondratice Model for High Pressure on Carbon Adsorbent*. Oklahoma State University.
- Subarkhah, M. J., & Titah, H. S. (2023). Remediasi Logam Berat Pb dengan Menggunakan Biochar Sekam Padi dan Tongkol Jagung. *Jurnal Teknik ITS*, 12(1), 48–53.
- Sukmawati. (2020). Bahan Organik Menjanjikan dari Biochar Tongkol Jagung, Cangkang dan Tandan Kosong Kelapa Sawit Berdasarkan Sifat Kimia. *J. Agroplantae*, 9(2), 82–94.
- Verayana, Paputungan, M., & Iyabu, H. (2018). Pengaruh Aktivator HCl dan H_3PO_4 terhadap Karakteristik (Morfologi Pori) Arang Aktif Tempurung Kelapa serta Uji Adsorpsi pada Logam Timbal (Pb). *Jurnal Entropi*, 12(1), 67–75.
- Yuniarti, D. P. (2015). Adsorpsi Karbon Aktif dari Tongkol Jagung Sebagai Adsorben Ion Logam Cu^{2+} . *Jurnal Teknik Teknik*, 2(1), 24–28.
- Zhao, H., Xue, Y., Long, L., & Hu, X. (2018). Adsorption of nitrate onto biochar derived from agricultural residuals. *Water Science and Technology*, 77(2), 548–554.

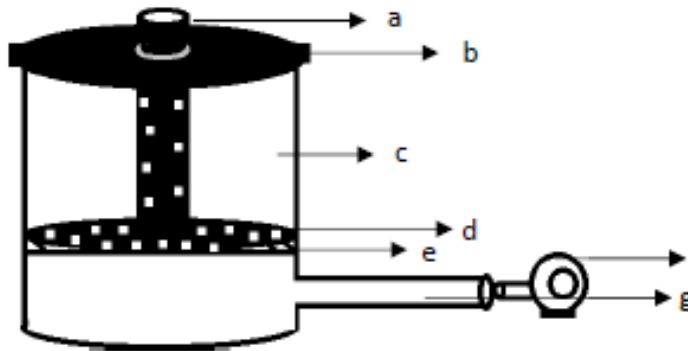
LAMPIRAN

Lampiran 3.1 Rancangan Penelitian

3.1.1 Diagram Alir Penelitian



3.1.2 Desain Reaktor Pirolisis



Keterangan:

a = tempat keluar asap

b = penutup bejana

c = bejana (tempat biomassa)

d = pembatas antara tempat biomassa dan tempat oksigen

e = penampang

f = kipas keong

g = tempat masuk oksigen

3.1.3 Persiapan Bahan

a. Larutan Brusin 2%

Larutan brusin dibuat dengan melarutkan sebanyak 0,5 gram brusin dengan H_2SO_4 98% sebanyak 2,5 mL dan akuades lalu diencerkan dalam labu ukur 25 mL hingga tanda batas.

b. Larutan Induk NO_3^- (1000 dan 100 ppm)

Larutan induk dibuat dengan melarutkan 0,815 gram KNO_3 dengan akuades. Larutan lalu dipindahkan ke dalam labu ukur 500 mL dan diencerkan hingga tanda batas. Larutan nitrat diambil sebanyak 100 mL lalu diencerkan dalam labu ukur 1000 mL hingga tanda batas, sehingga diperoleh larutan nitrat 100 ppm.

c. Larutan Standar NO_3^-

Larutan standar NO_3^- dengan konsentrasi 15, 20, 30, 40, dan 50 ppm masing-masing dibuat dari larutan induk NO_3^- yaitu sebanyak 150 mL; 200 mL; 300 mL; 400 mL; dan 500 mL yang masing-masing diencerkan dalam labu ukur 1000 mL hingga tanda batas.

d. Pembuatan Indikator Amilum 1%

Amilum sebanyak 1 gram dilarutkan dengan 10 mL akuades pada suhu ruang. Selanjutnya, akuades sebanyak 90 mL dididihkan dan ditambahkan dengan campuran amilum sebelumnya dan ditunggu hingga dingin.

e. Pembuatan Larutan $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ 0,1N

Sebanyak 24,821 gram padatan $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ dilarutkan dengan akuades dalam gelas beaker dan diaduk hingga larut. Larutan kemudian dimasukkan kedalam labu ukur 1000 mL dan diencerkan hingga tanda batas.

f. Pembuatan Larutan Iodin 0,1N

Sebanyak 12,7 gram padatan I_2 dilarutkan kedalam akuades pada gelas beaker dan diaduk hingga larut. Larutan kemudian dimasukkan dalam labu ukur 1000 mL diencerkan hingga tanda batas.

Lampiran 3.2 Perhitungan

3.2.1 Pembuatan Larutan

1. Perhitungan Larutan H₃PO₄ 10-40% dari H₃PO₄ 85%

a. H₃PO₄ Konsentrasi 10%

$$M_1 \times V_1 = M_2 \times V_2$$

$$85\% \times V_1 = 10\% \times 250 \text{ mL}$$

$$V_1 = 29,41 \text{ mL}$$

b. H₃PO₄ Konsentrasi 20%

$$M_1 \times V_1 = M_2 \times V_2$$

$$85\% \times V_1 = 20\% \times 250 \text{ mL}$$

$$V_1 = 58,82 \text{ mL}$$

c. H₃PO₄ Konsentrasi 30%

$$M_1 \times V_1 = M_2 \times V_2$$

$$85\% \times V_1 = 30\% \times 250 \text{ mL}$$

$$V_1 = 88,23 \text{ mL}$$

d. H₃PO₄ Konsentrasi 40%

$$M_1 \times V_1 = M_2 \times V_2$$

$$85\% \times V_1 = 40\% \times 250 \text{ mL}$$

$$V_1 = 117,64 \text{ mL}$$

2. Perhitungan Larutan Brusin 2%

$$\text{Massa jenis air } (\rho) = 1 \text{ gram/mL}$$

$$V \text{ larutan} = 25 \text{ mL} = V \text{ air}$$

$$m \text{ air} = V \times \rho$$

$$= 25 \text{ mL} \times 1 \text{ gram/mL}$$

$$= 25 \text{ gram}$$

$$\% \text{ massa} = \frac{m \text{ brusin}}{m \text{ larutan}} \times 100\%$$

$$\text{massa brusin} = \frac{\% \text{ massa} \times m \text{ larutan}}{100\%}$$

$$= \frac{2\% \times 25 \text{ gram}}{100\%}$$

$$= 0,5 \text{ gram}$$

3. Perhitungan Larutan Induk Nitrat 1000 ppm (500 mL)

$$\begin{aligned} \text{massa KNO}_3 &= \frac{BM \text{ KNO}_3}{Ar \text{ KNO}_3} \times 1000 \text{ ppm} \times f_k \times V \text{ KNO}_3 \\ &= \frac{101 \text{ gram/mol}}{62 \text{ gram/mol}} \times 1000 \frac{\text{mg}}{\text{L}} \times \frac{1 \text{ gram}}{1000 \text{ mg}} \times 0,5 \text{ L} \\ &= 0,815 \text{ gram} \end{aligned}$$

4. Perhitungan Larutan Standart Nitrat 100 ppm (1000 mL)

$$M_1 \times V_1 = M_2 \times V_2$$

$$1000 \text{ ppm} \times V_1 = 100 \text{ ppm} \times 1000 \text{ mL}$$

$$V_1 = 100 \text{ mL}$$

5. Perhitungan Larutan Standart Nitrat dari 100 ppm

a. 15 ppm (1000 mL)

$$M_1 \times V_1 = M_2 \times V_2$$

$$100 \text{ ppm} \times V_1 = 15 \text{ ppm} \times 1000 \text{ mL}$$

$$V_1 = 150 \text{ mL}$$

b. 20 ppm (1000 mL)

$$M_1 \times V_1 = M_2 \times V_2$$

$$100 \text{ ppm} \times V_1 = 20 \text{ ppm} \times 1000 \text{ mL}$$

$$V_1 = 200 \text{ mL}$$

c. 30 ppm (1000 mL)

$$M_1 \times V_1 = M_2 \times V_2$$

$$100 \text{ ppm} \times V_1 = 30 \text{ ppm} \times 1000 \text{ mL}$$

$$V_1 = 300 \text{ mL}$$

d. 40 ppm (1000 mL)

$$M_1 \times V_1 = M_2 \times V_2$$

$$100 \text{ ppm} \times V_1 = 40 \text{ ppm} \times 1000 \text{ mL}$$

$$V_1 = 400 \text{ mL}$$

e. 50 ppm (1000 mL)

$$M_1 \times V_1 = M_2 \times V_2$$

$$100 \text{ ppm} \times V_1 = 50 \text{ ppm} \times 1000 \text{ mL}$$

$$V_1 = 500 \text{ mL}$$

6. Perhitungan Larutan Amilum 1%

$$\begin{aligned}
 \text{Massa jenis air } (\rho) &= 1 \text{ gram/mL} \\
 V \text{ larutan} &= 100 \text{ mL} = V \text{ air} \\
 m \text{ air} &= V \times \rho \\
 &= 100 \text{ mL} \times 1 \text{ gram/mL} \\
 &= 100 \text{ gram} \\
 \% \text{ massa} &= \frac{m \text{ amilum}}{m \text{ larutan}} \times 100\% \\
 \text{massa brusin} &= \frac{\% \text{ massa} \times m \text{ larutan}}{100\%} \\
 &= \frac{1\% \times 100 \text{ gram}}{100\%} \\
 &= 1 \text{ gram}
 \end{aligned}$$

7. Perhitungan Larutan $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ 0,1 N (1000 mL)

$$\begin{aligned}
 N &= \frac{m}{BM} \times \frac{250}{V} \times \text{valensi} \\
 0,1 \text{ N} &= \frac{m}{248,21 \text{ g/mol}} \times \frac{1000}{V} \times 1 \\
 m &= 24,821 \text{ gram}
 \end{aligned}$$

8. Perhitungan Larutan I_2 0,1 N (250 mL)

$$\begin{aligned}
 N &= \frac{m}{BM} \times \frac{250}{V} \times \text{valensi} \\
 0,1 \text{ N} &= \frac{m}{254 \text{ g/mol}} \times \frac{250}{V} \times 2 \\
 m &= 12,7 \text{ gram}
 \end{aligned}$$

9. Perhitungan Larutan HCl 2N dari HCl 37%

HCl 37% = 37 mL dalam 100 mL

$$\begin{aligned}
 m \text{ HCl} &= V \times \rho \\
 &= 37 \text{ mL} \times 1,19 \frac{\text{g}}{\text{mL}} \\
 &= 44,03 \text{ gram}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 N &= \frac{m}{BE \times V} \\
 &= \frac{44,03 \text{ gram}}{36,5 \text{ g/mol} \times 0,1 \text{ L}} \\
 &= 12,06 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$N_1 \times V_1 = N_2 \times V_2$$

$$12,06 \text{ N} \times V_1 = 2 \text{ N} \times 100 \text{ mL}$$

$$V_1 = 16,6 \text{ mL}$$

Lampiran 4.1 Rendemen *Biochar* dan Kadar Air Biomassa

4.1.1 Hasil Rendemen *Biochar* Tongkol Jagung

Massa Awal (kg)	Massa Akhir (kg)	Rendemen (%)
16,0	6,3	39,37

4.1.2 Hasil Uji Kadar Air Biomassa Tongkol Jagung

Pengulangan	Massa Awal (g)	Massa Akhir (g)	Kadar Air (%)	Rata-Rata (%)	SD (%)	RSD (%)
1	0,503	0,438	12,922			
2	0,501	0,436	12,974	12,823	0,217	0,016
3	0,501	0,438	12,574			

4.1.3 Hasil Uji Kadar Air *Biochar* Tongkol Jagung

Pengulangan	Massa Awal (g)	Massa Akhir (g)	Kadar Air (%)	Rata-Rata (%)	SD (%)	RSD (%)
1	0,513	0,498	2,923			
2	0,516	0,501	2,906	2,783	0,228	0,082
3	0,516	0,503	2,519			

Contoh penentuan kadar air menggunakan Persamaan (2.1)

Diketahui : massa awal = 0,513

 massa akhir = 0,498

$$\begin{aligned}
 \text{Kadar air (\%)} &= \frac{\text{massa awal (gram)} - \text{massa akhir (gram)}}{\text{massa awal (gram)}} \times 100\% \\
 &= \frac{0,513 \text{ gram} - 0,498 \text{ gram}}{0,513 \text{ gram}} \times 100\% \\
 &= 2,923\%
 \end{aligned}$$

Lampiran 4.2 Data Rendemen, Kadar Air, Kadar Abu, dan Bilangan Iodin

4.2.1 Rendemen Setelah Aktivasi

Konsentrasi H ₃ PO ₄ (%)	Massa Awal (gram)	Massa Akhir (gram)	Rendemen (%)
0	80,087	63,996	79,908
10	80,054	63,756	79,641
20	80,281	63,421	78,998
30	80,042	62,158	77,656
40	80,021	62,627	78,319

4.2.2 Kadar Air *Biochar* Teraktivasi

Konsentrasi H ₃ PO ₄ (%)	Pengulangan	Massa Awal (g)	Massa Akhir (g)	Kadar Air (%)	Rata-Rata (%)	SD (%)	RSD (%)
0	1	0,502	0,494	1,593	1,593	0,001	0,11
	2	0,502	0,494	1,593			
	3	0,503	0,495	1,590			
10	1	0,501	0,496	0,998	0,997	0,001	0,12
	2	0,502	0,497	0,996			
	3	0,501	0,496	0,998			
20	1	0,503	0,499	0,795	0,788	0,006	0,80
	2	0,508	0,504	0,787			
	3	0,511	0,507	0,782			
30	1	0,501	0,498	0,598	0,594	0,004	0,70
	2	0,508	0,505	0,590			
	3	0,505	0,502	0,594			
40	1	0,502	0,499	0,597	0,663	0,114	0,20
	2	0,502	0,499	0,597			
	3	0,503	0,499	0,795			

Contoh penentuan kadar air menggunakan Persamaan (2.1)

Diketahui : massa awal = 0,502

 massa akhir = 0,494

$$\text{Kadar air (\%)} = \frac{\text{massa awal (gram)} - \text{massa akhir (gram)}}{\text{massa awal (gram)}} \times 100\%$$

$$= \frac{0,502 \text{ gram} - 0,494 \text{ gram}}{0,502 \text{ gram}} \times 100\%$$

$$= 1,593\%$$

4.2.3 Kadar Abu *Biochar* Teraktivasi

konsentrasi H ₃ PO ₄ (%)	pengulangan	massa cawan kosong (gram)	massa cawan+ sampel (gram)	massa cawan + abu (gram)	kadar abu (%)	rata- rata (%)	SD (%)	RSD (%)
0	1	20,390	20,902	20,406	3,119	3,114	0,032	0,010
	2	15,110	15,613	15,126	3,080			
	3	16,531	17,039	16,547	3,144			
10	1	15,286	15,793	15,300	2,619	2,608	0,021	0,008
	2	20,389	20,892	20,403	2,548			
	3	15,283	15,784	15,297	2,622			
20	1	16,534	17,035	16,545	2,174	2,133	0,055	0,026
	2	12,324	12,833	12,335	2,155			
	3	15,111	15,618	15,122	2,071			
30	1	20,390	20,895	20,397	1,370	1,533	0,175	0,020
	2	16,522	17,026	16,532	1,718			
	3	12,329	12,838	12,337	1,511			
40	1	16,531	17,038	16,539	1,552	1,768	0,194	0,020
	2	15,283	15,786	15,293	1,825			
	3	12,329	12,830	12,339	1,928			

Contoh penentuan kadar abu menggunakan Persamaan (2.2)

Diketahui : massa cawan kosong = 20,390
 massa cawan + sampel = 20,902
 massa cawan + abu = 20,406

$$\begin{aligned} \text{Kadar abu (\%)} &= \frac{\text{massa cawan dengan abu (gr)} - \text{massa cawan kosong (gr)}}{\text{massa cawan dengan sampel (gr)} - \text{massa cawan kosong (gr)}} \times 100\% \\ &= \frac{20,406 \text{ gram} - 20,390 \text{ gram}}{20,902 \text{ gram} - 20,390 \text{ gram}} \times 100\% \\ &= 3,1\% \end{aligned}$$

4.2.4 Bilangan Iodin *Biochar* Teraktivasi

H ₃ PO ₄	P*	N I ₂	Mr I ₂	V I ₂	V HCl	V _f	N Na ₂ S ₂ O ₃	V Na ₂ S ₂ O ₃	Massa <i>biochar</i>	Bil. Iod	Rata- Rata	SD	RSD
	1							40,00		761,58			
0%	2							40,00		761,58	763,91	4,030	0,005
	3							39,95		768,56			
	1							39,50		831,39			
10%	2							39,55		824,41	829,06	4,030	0,004
	3							39,50		831,39			
	1							38,30		998,94			
20%	2	0,1	126,93	100	10	50	0,1	38,30	0,200	998,94	996,61	4,030	0,004
	3							38,35		991,96			
	1							36,75		1215,35			
30%	2							36,75		1215,35	1217,70	4,030	0,003
	3							36,70		1222,34			
	1							37,35		1131,58			
40%	2							37,35		1131,58	1133,90	4,030	0,003
	3							37,30		1138,56			

*Pengulangan

Contoh penentuan kadar abu menggunakan Persamaan (2.3)

$$\begin{aligned}
 \text{Daya serap iod} &= \frac{(N_{I_2} \times 126,93 \times V_{I_2}) - \left[\frac{(V_{I_2} + V_{HCl})}{V_f} \right] \times (N_{Na_2S_2O_3} \times 126,93) \times V_{Na_2S_2O_3}}{M_c} \\
 &= \frac{(0,1 \times 126,93 \times 100) - \left[\frac{(100 + 10)}{50} \right] \times (0,1 \times 126,93) \times 40,00}{0,2} = \frac{1269,3 - 2,2 \times 12,693 \times 40,00}{0,2} = \frac{152,316}{0,2} = 761,58
 \end{aligned}$$

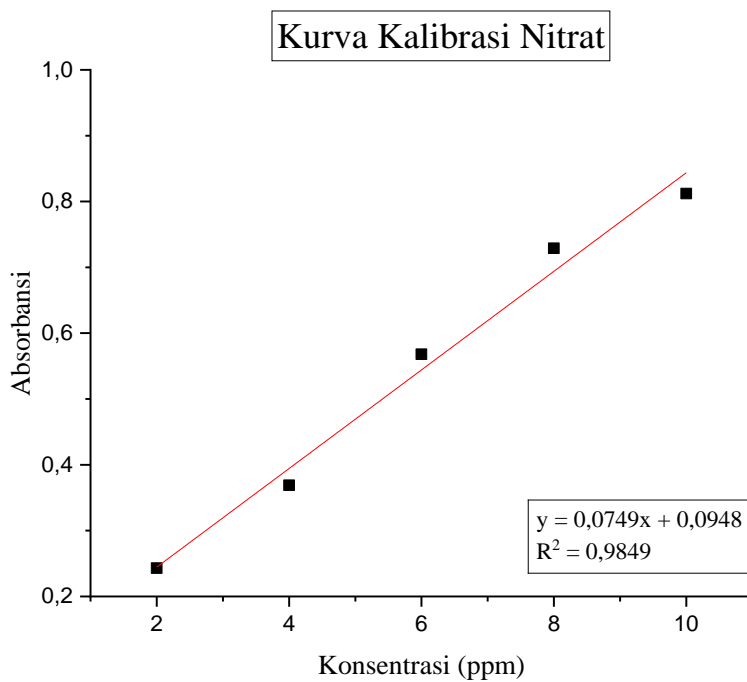
Lampiran 4.3 Scanning Bilangan Gelombang Maksimum dan Kurva Standart

4.3.1 Scanning Bilangan Gelombang Maksimum Nitrat

Panjang Gelombang (nm)	Absorbansi			Rata-Rata
	I	II	III	
400	0,4993	0,4993	0,4993	0,4993
401	0,5000	0,5000	0,5000	0,5000
402	0,5007	0,5007	0,5007	0,5007
403	0,5013	0,5013	0,5013	0,5013
404	0,5013	0,5013	0,5013	0,5013
405	0,5014	0,5014	0,5014	0,5014
406	0,5007	0,5007	0,5007	0,5007
407	0,5007	0,5007	0,5007	0,5007
408	0,5000	0,5000	0,5000	0,5000
409	0,4979	0,4979	0,4979	0,4979
410	0,4972	0,4972	0,4972	0,4972

4.3.2 Kurva Standart Nitrat

Konsentrasi (ppm)	Absorbansi			
	I	II	III	Rata-Rata
2	0,243	0,232	0,254	0,243
4	0,369	0,363	0,375	0,369
6	0,568	0,561	0,575	0,568
8	0,729	0,723	0,735	0,729
10	0,812	0,811	0,813	0,812



4.4.2 *Biochar* teraktivasi H₃PO₄ konsentrasi 10%

Waktu kontak (menit)	Pengulangan	Co (ppm)	Massa (gram)	Absorbansi				SD (%)	Ce (ppm)	V (L)	Qe (mg/g)	Qe rata-rata (mg/g)	SD (%)	
				1	2	3	Rata-Rata							
10	1	50	0,400	0,665	0,665	0,665	0,665	0,005	38,06	0,05	1,492	1,431	0,044	
	2			0,675	0,675	0,675	0,675				1,408			
	3			0,677	0,677	0,677	0,677				1,391			
15	1			0,532	0,532	0,532	0,532	0,01	29,19	0,01	0,01	2,601	2,579	0,083
	2			0,548	0,548	0,548	0,548					2,468		
	3			0,524	0,524	0,524	0,524					2,668		
20	1			0,394	0,394	0,394	0,394	0,009	19,97	0,05	0,05	3,753	3,650	0,079
	2			0,408	0,408	0,408	0,408					20,90		
	3			0,417	0,417	0,417	0,417					21,50		
25	1	0,403	0,403	0,403	0,403	0,011	20,57	0,011	0,011	3,678	3,573	0,089		
	2	0,429	0,429	0,429	0,429					22,30				
	3	0,415	0,415	0,415	0,415					21,37				
30	1	0,432	0,432	0,432	0,432	0,013	22,51	0,013	0,013	3,436	3,559	0,106		
	2	0,419	0,419	0,419	0,419					21,64				
	3	0,401	0,401	0,401	0,401					20,44				

4.4.3 *Biochar* teraktivasi H₃PO₄ konsentrasi 20%

Waktu kontak (menit)	Pengulangan	Co (ppm)	Massa (gram)	Absorbansi				SD (%)	Ce (ppm)	V (L)	Qe (mg/g)	Qe rata-rata (mg/g)	SD (%)	
				1	2	3	Rata-Rata							
10	1	0,5	0,400	0,636	0,636	0,636	0,636	0,01	36,13	0,01	0,01	1,767	0,085	
	2			0,642	0,642	0,642	0,642							1,683
	3			0,618	0,618	0,618	0,618							1,884
15	1			0,486	0,486	0,486	0,486	0,012	26,11	0,012	0,012	2,985	3,108	0,102
	2			0,472	0,472	0,472	0,472					3,102		
	3			0,456	0,456	0,456	0,456					3,235		
20	1			0,402	0,402	0,402	0,402	0,02	20,51	0,02	0,02	3,686	3,917	0,164
	2			0,362	0,362	0,362	0,362					4,020		
	3			0,359	0,359	0,359	0,359					4,045		
25	1	0,417	0,417	0,417	0,417	0,022	21,51	0,022	0,022	3,561	3,823	0,165		
	2	0,371	0,371	0,371	0,371					18,44				
	3	0,369	0,369	0,369	0,369					18,30				
30	1	0,421	0,421	0,421	0,421	0,025	21,78	0,025	0,025	3,528	3,815	0,206		
	2	0,375	0,375	0,375	0,375					3,911				
	3	0,364	0,364	0,364	0,364					4,003				

4.4.4 *Biochar* teraktivasi H₃PO₄ konsentrasi 30%

Waktu kontak (menit)	Pengulangan	Co (ppm)	Massa (gram)	Absorbansi				SD (%)	Ce (ppm)	V (L)	Qe (mg/g)	Qe rata-rata (mg/g)	SD (%)
				1	2	3	Rata- Rata						
10	1	50	0,400	0,553	0,553	0,553	0,553	0,006	30,59	0,05	2,426	2,363	0,048
	2			0,567	0,567	0,567	0,567		31,52		2,309		
	3			0,562	0,562	0,562	0,562		31,19		2,351		
15	1			0,411	0,411	0,411	0,411	0,018	21,11		3,611		
	2			0,366	0,366	0,366	0,366		18,10		3,986		
	3			0,389	0,389	0,389	0,389		19,64		3,795		
20	1			0,278	0,278	0,278	0,278	0,004	12,23		4,721		
	2			0,282	0,282	0,282	0,282		12,50		4,687		
	3			0,272	0,272	0,272	0,272		11,83		4,771		
25	1	0,312	0,312	0,312	0,312	0,055	14,50	4,437					
	2	0,288	0,288	0,288	0,288		12,90	4,637					
	3	0,273	0,273	0,273	0,273		11,90	4,763					
30	1	0,292	0,292	0,292	0,292	0,004	13,16	4,604					
	2	0,292	0,292	0,292	0,292		13,16	4,604					
	3	0,293	0,293	0,293	0,293		13,23	4,596					

4.4.5 *Biochar* teraktivasi H₃PO₄ konsentrasi 40%

Waktu kontak (menit)	Pengulangan	Co (ppm)	Massa (gram)	Absorbansi				SD (%)	Ce (ppm)	V (L)	Qe (mg/g)	Qe rata-rata (mg/g)	SD (%)
				1	2	3	Rata- Rata						
10	1	50	0,400	0,593	0,593	0,593	0,593	0,003	33,26	0,05	2,092	2,082	0,028
	2			0,599	0,599	0,599	0,599		33,66		2,042		
	3			0,591	0,591	0,591	0,591		33,12		2,109		
15	1			0,432	0,432	0,432	0,432	0,005	22,51		3,436		
	2			0,438	0,438	0,438	0,438		22,91		3,386		
	3			0,444	0,444	0,444	0,444		23,31		3,336		
20	1			0,328	0,328	0,328	0,328	0,004	15,57		4,304		
	2			0,322	0,322	0,322	0,322		15,17		4,354		
	3			0,333	0,333	0,333	0,333		15,90		4,262		
25	1	0,328	0,328	0,328	0,328	0,005	15,57	4,304					
	2	0,331	0,331	0,331	0,331		15,77	4,279					
	3	0,332	0,332	0,332	0,332		15,83	4,270					
30	1	0,330	0,330	0,330	0,330	0,006	15,70	4,287					
	2	0,330	0,330	0,330	0,330		15,70	4,287					
	3	0,334	0,334	0,334	0,334		15,97	4,254					

Lampiran 4.5 Data Adsorpsi *Biochar* Teraktivasi

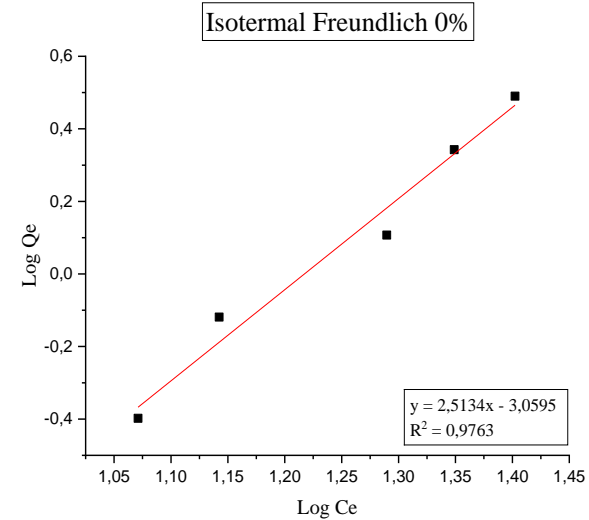
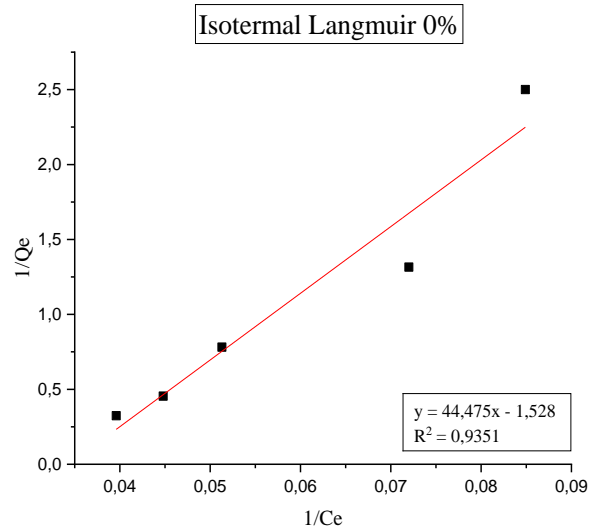
4.5.1 *Biochar* teraktivasi H₃PO₄ konsentrasi 0%

a. Data adsorpsi *biochar* teraktivasi variasi konsentrasi adsorbat

Waktu kontak (menit)	Co (ppm)	Massa (gram)	Pengulangan	Absorbansi				SD (%)	Ce (ppm)	V (L)	Qe (mg/g)	Qe rata-rata (mg/g)	SD (%)
				1	2	3	Rata-Rata						
20	15	0,400	1	0,272	0,272	0,272	0,272	0,000	11,829	0,05	0,396	0,401	0,004
			2	0,271	0,271	0,271	0,271		11,762		0,404		
			3	0,271	0,271	0,271	0,271		11,762		0,404		
			1	0,301	0,301	0,301	0,301		13,765		0,779		
			2	0,302	0,302	0,302	0,302		14,054		0,743		
			3	0,302	0,302	0,302	0,302		13,831		0,771		
	1	0,394	0,394	0,394	0,394	19,973	1,253						
	2	0,384	0,384	0,384	0,384	19,305	1,336						
	3	0,393	0,393	0,393	0,393	19,906	1,261						
	1	0,434	0,434	0,434	0,434	22,643	2,169						
	2	0,422	0,422	0,422	0,422	21,842	2,269						
	3	0,432	0,432	0,432	0,432	22,510	2,186						
1	0,464	0,464	0,464	0,464	24,646	3,169							
2	0,478	0,478	0,478	0,478	25,580	3,052							
3	0,478	0,478	0,478	0,478	25,580	3,052							

b. Parameter penentuan model isotermal adsorpsi

Ce	Qe	1/Ce	1/Qe	Log Ce	Log Qe
11,78	0,40	0,0849	2,4999	1,0711	-0,398
13,88	0,76	0,0720	1,3158	1,1424	-0,119
19,48	1,28	0,0513	0,7813	1,2896	0,1072
22,33	2,20	0,0448	0,4545	1,3489	0,3424
25,26	3,09	0,0396	0,3236	1,4024	0,4899



Isotermal Langmuir			Isotermal Freundlich			
Q_{max}	K_L	R^2	K_f	n	$1/n$	R^2
-0,654	-0,034	0,9351	0,0008	-0,3979	2,5134	0,9763

*Model isotermal Langmuir

$$y = 44,475x - 1,528$$

$$\text{intersep} = \frac{1}{Q_{max}} = -1,528$$

$$Q_{max} = \frac{1}{\text{intercept}} = \frac{1}{-1,528} = -0,654$$

$$K_L = \frac{1}{Q_{max} \times \text{slope}} = \frac{1}{-0,654 \times 44,475} = -0,034$$

* Model isotermal Freundlich

$$y = 2,5134x - 3,0595$$

$$\text{intersep} = \log K_f = -3,0595$$

$$K_f = 10^{-3,0595} = 0,0008$$

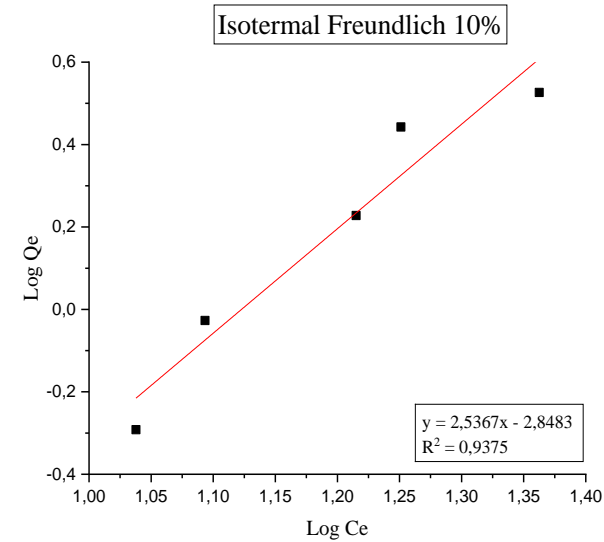
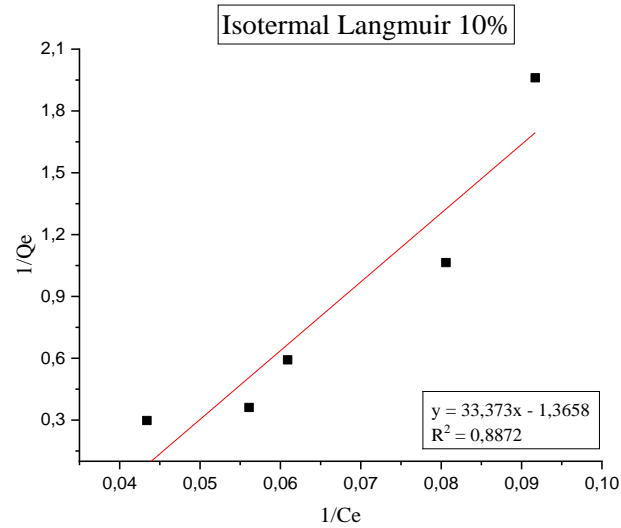
$$n = \frac{1}{\text{slope}} = \frac{1}{2,5134} = -0,3979$$

4.5.2 *Biochar* teraktivasi H₃PO₄ konsentrasi 10%a. Data adsorpsi *biochar* teraktivasi variasi konsentrasi adsorbat

Waktu kontak (menit)	Co (ppm)	Massa (gram)	Pengulangan	Absorbansi				SD (%)	Ce (ppm)	V (L)	Qe (mg/g)	Qe rata-rata (mg/g)	SD (%)
				1	2	3	Rata- Rata						
25	15	0,400	1	0,259	0,259	0,259	0,259	0,005	10,961	0,05	0,504	0,510	0,004
			2	0,258	0,258	0,258	0,258		10,894		0,513		
			3	0,258	0,258	0,258	0,258		10,894		0,513		
	20		1	0,282	0,282	0,282	0,282	0,001	12,496	0,009	0,937	0,949	0,009
			2	0,280	0,280	0,280	0,280		12,363		0,954		
			3	0,280	0,280	0,280	0,280		12,363		0,954		
	30		1	0,342	0,342	0,342	0,342	0,008	16,502	0,05	1,687	1,698	0,067
			2	0,332	0,332	0,332	0,332		15,834		1,770		
			3	0,348	0,348	0,348	0,348		16,902		1,637		
	40		1	0,360	0,360	0,360	0,360	0,005	17,703	0,005	2,787	2,770	0,044
			2	0,368	0,368	0,368	0,368		18,237		2,720		
			3	0,358	0,358	0,358	0,358		17,570		2,803		
50	1	0,448	0,448	0,448	0,448	0,007	23,578	0,007	3,302	3,369	0,060		
	2	0,438	0,438	0,438	0,438		22,910		3,386				
	3	0,434	0,434	0,434	0,434		22,643		3,419				

b. Parameter penentuan model isothermal adsorpsi

Ce	Qe	1/Ce	1/Qe	Log Ce	Log Qe
10,91	0,51	0,0917	1,9608	1,0378	-0,292
12,40	0,94	0,0806	1,0638	1,0934	-0,027
16,41	1,69	0,0609	0,5917	1,2151	0,2279
17,83	2,77	0,0561	0,3610	1,2512	0,4425
23,04	3,36	0,0434	0,2976	1,3625	0,5263



Isotermal Langmuir			Isotermal Freundlich			
Q_{max}	K_L	R^2	K_f	n	$1/n$	R^2
-0,732	-0,041	0,8872	0,0014	0,3942	2,5367	0,9375

*Model isotermal Langmuir

$$y = 33,373x - 1,3658$$

$$\text{intersep} = \frac{1}{Q_{max}} = -1,3658$$

$$Q_{max} = \frac{1}{\text{intercept}} = \frac{1}{-1,3658} = -0,732$$

$$K_L = \frac{1}{Q_{max} \times \text{slope}} = \frac{1}{-0,732 \times 33,373} = -0,041$$

* Model isotermal Freundlich

$$y = 2,5367x - 2,8483$$

$$\text{intersep} = \log K_f = -2,8483$$

$$K_f = 10^{-2,8483} = 0,0014$$

$$n = \frac{1}{\text{slope}} = \frac{1}{2,5367} = 0,3942$$

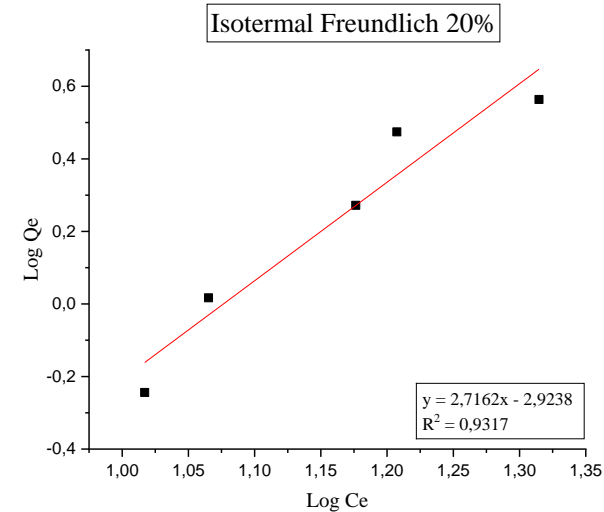
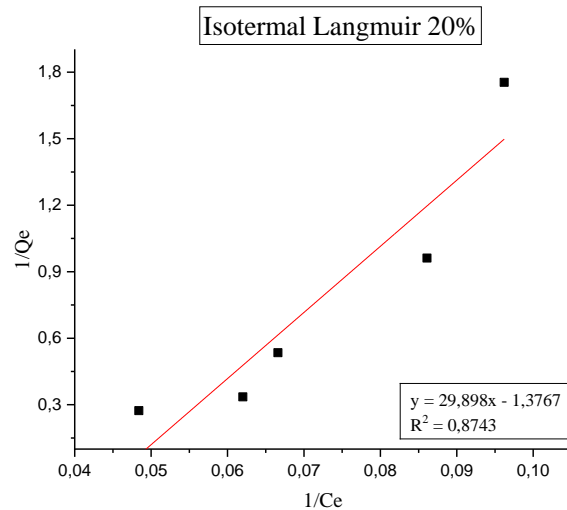
4.5.3 Biochar teraktivasi H₃PO₄ konsentrasi 20%

a. Data adsorpsi biochar teraktivasi variasi konsentrasi adsorbat

Waktu kontak (menit)	Co (ppm)	Massa (gram)	Pengulangan	Absorbansi				SD (%)	Ce (ppm)	V (L)	Qe (mg/g)	Qe rata-rata (mg/g)	SD (%)
				1	2	3	Rata- Rata						
25	15	0,400	1	0,252	0,252	0,252	0,252	0,001	10,493	0,05	0,563	0,574	0,009
			2	0,250	0,250	0,250	0,250		10,360		0,579		
			3	0,250	0,250	0,250	0,250		10,360		0,579		
	20		1	0,266	0,266	0,266	0,266	0,002	11,428	1,071	1,046	0,022	
			2	0,270	0,270	0,270	0,270		11,695	1,038			
			3	0,271	0,271	0,271	0,271		11,762	1,029			
	30		1	0,318	0,318	0,318	0,318	0,002	14,899	1,887	1,873	0,017	
			2	0,322	0,322	0,322	0,322		15,166	1,854			
			3	0,319	0,319	0,319	0,319		14,966	1,879			
40	1	0,332	0,332	0,332	0,332	0,003	15,834	3,020	2,984	0,031			
	2	0,338	0,338	0,338	0,338		16,234	2,970					
	3	0,339	0,339	0,339	0,339		16,301	2,962					
50	1	0,404	0,404	0,404	0,404	0,008	20,640	3,669	3,669	0,066			
	2	0,412	0,412	0,412	0,412		21,174	3,603					
	3	0,396	0,396	0,396	0,396		20,106	3,736					

b. Parameter penentuan model isothermal adsorpsi

Ce	Qe	1/Ce	1/Qe	Log Ce	Log Qe
10,40	0,57	0,0962	1,7544	1,0170	-0,2440
11,62	1,04	0,0861	0,9615	1,0652	0,0170
15,01	1,87	0,0666	0,5348	1,1764	0,2718
16,12	2,98	0,0620	0,3356	1,2074	0,4742
20,64	3,66	0,0484	0,2732	1,3147	0,5635



Isotermal Langmuir			Isotermal Freundlich			
Q_{\max}	K_L	R^2	K_f	n	$1/n$	R^2
-0,726	-0,046	0,8743	0,0011	0,3682	2,7162	0,9317

*Model isotermal Langmuir

$$y = 29,898x - 1,3767$$

$$\text{intersep} = \frac{1}{Q_{\max}} = -1,3767$$

$$Q_{\max} = \frac{1}{\text{intercept}} = \frac{1}{-1,3767} = -0,726$$

$$K_L = \frac{1}{Q_{\max} \times \text{slope}} = \frac{1}{-0,726 \times 29,898} = -0,046$$

* Model isotermal Freundlich

$$y = 2,7162x - 2,9238$$

$$\text{intersep} = \log K_f = -2,9238$$

$$K_f = 10^{-2,9238} = 0,0011$$

$$n = \frac{1}{\text{slope}} = \frac{1}{2,7162} = 0,3682$$

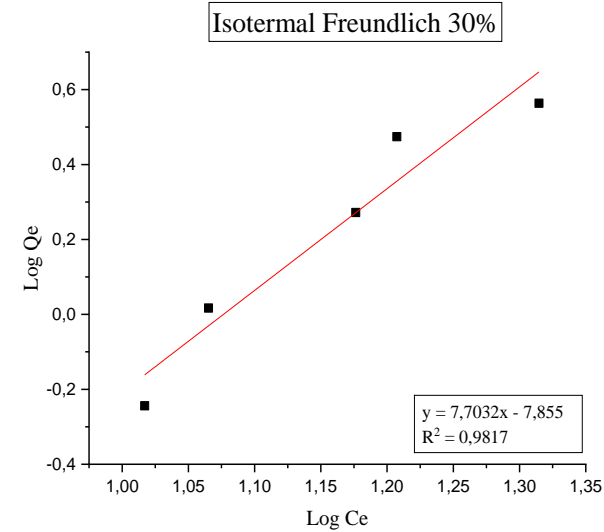
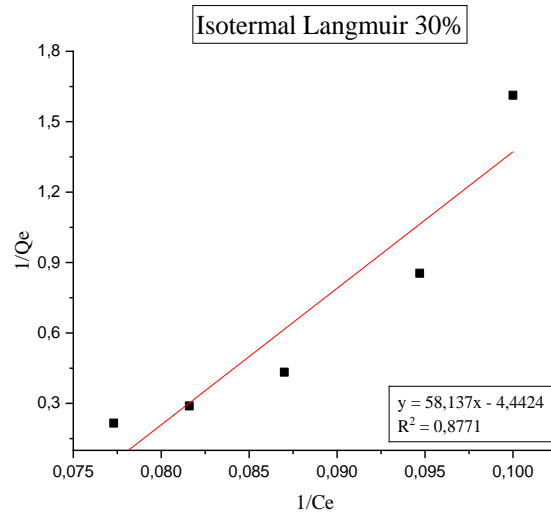
4.5.4 Biochar teraktivasi H₃PO₄ konsentrasi 30%

a. Data adsorpsi biochar teraktivasi variasi konsentrasi adsorbat

Waktu kontak (menit)	Co (ppm)	Massa (gram)	Pengulangan	Absorbansi				SD (%)	Ce (ppm)	V (L)	Qe (mg/g)	Qe rata-rata (mg/g)	SD (%)
				1	2	3	Rata- Rata						
25	15	0,400	1	0,244	0,244	0,244	0,244	0,001	9,959	0,05	0,630	0,624	0,009
			2	0,246	0,246	0,246	0,246		10,093		0,613		
			3	0,244	0,244	0,244	0,244		9,959		0,630		
	20		1	0,251	0,251	0,251	0,251	0,004	10,427	1,196	1,179	0,036	
			2	0,258	0,258	0,258	0,258		10,894	1,138			
			3	0,250	0,250	0,250	0,250		10,360	1,204			
	30		1	0,269	0,269	0,269	0,269	0,001	11,628	2,296	2,313	0,014	
			2	0,266	0,266	0,266	0,266		11,428	2,321			
			3	0,266	0,266	0,266	0,266		11,428	2,321			
	40		1	0,278	0,278	0,278	0,278	0,000	12,229	3,471	3,468	0,004	
			2	0,278	0,278	0,278	0,278		12,229	3,471			
			3	0,279	0,279	0,279	0,279		12,296	3,462			
50	1	0,286	0,286	0,286	0,286	0,003	12,763	4,654	4,632	0,025			
	2	0,292	0,292	0,292	0,292		13,164	4,604					
	3	0,288	0,288	0,288	0,288		12,897	4,637					

b. Parameter penentuan model isothermal adsorpsi

Ce	Qe	1/Ce	1/Qe	Log Ce	Log Qe
10	0,62	0,1	1,6129	1	-0,208
10,56	1,17	0,0947	0,8547	1,0237	0,0682
11,49	2,31	0,0870	0,4329	1,0603	0,3636
12,25	3,46	0,0816	0,2890	1,0881	0,5391
12,94	4,63	0,0773	0,2160	1,1119	0,6656



Isotermal Langmuir			Isotermal Freundlich			
Q_{\max}	K_L	R^2	K_f	n	$1/n$	R^2
-0,225	-0,076	0,8771	0,0038	0,1298	7,7032	0,9817

*Model isotermal Langmuir

$$y = 58,137x - 4,4424$$

$$\text{intersep} = \frac{1}{Q_{\max}} = -4,4424$$

$$Q_{\max} = \frac{1}{\text{intercept}} = \frac{1}{-4,4424} = -0,225$$

$$K_L = \frac{1}{Q_{\max} \times \text{slope}} = \frac{1}{-0,225 \times 58,137} = -0,076$$

* Model isotermal Freundlich

$$y = 7,7032x - 7,855$$

$$\text{intersep} = \log K_f = -7,855$$

$$K_f = 10^{-7,855} = 0,0038$$

$$n = \frac{1}{\text{slope}} = \frac{1}{7,7032} = 0,1298$$

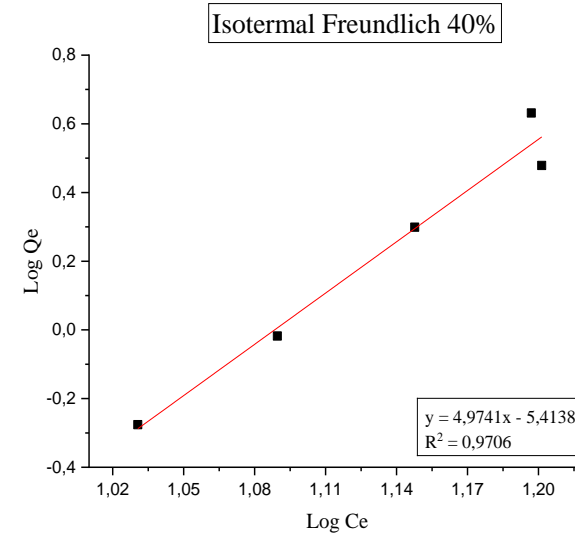
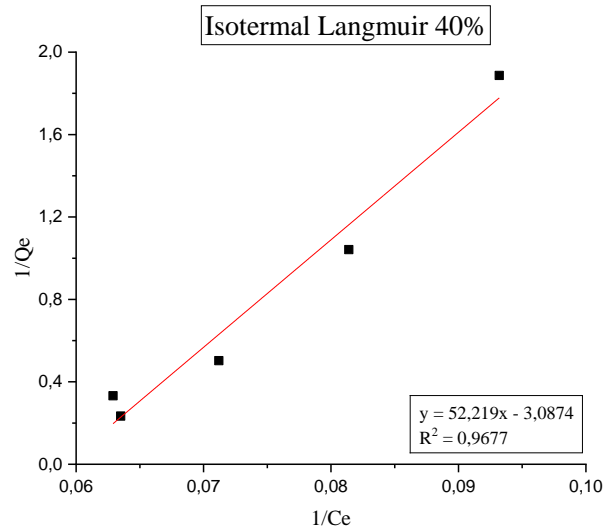
4.5.5 Biochar teraktivasi H₃PO₄ konsentrasi 40%

a. Data adsorpsi biochar teraktivasi variasi konsentrasi adsorbat

Waktu kontak (menit)	Co (ppm)	Massa (gram)	Pengulangan	Absorbansi				SD (%)	Ce (ppm)	V (L)	Qe (mg/g)	Qe rata-rata (mg/g)	SD (%)
				1	2	3	Rata- Rata						
25	15	0,400	1	0,256	0,256	0,256	0,256	0,000	10,761	0,05	0,529	0,532	0,004
			2	0,256	0,256	0,256	0,256		10,761		0,529		
			3	0,255	0,255	0,255	0,255		10,694		0,538		
	20		1	0,278	0,278	0,278	0,278	0,001	12,229	0,971	0,962	0,014	
			2	0,278	0,278	0,278	0,278		12,229	0,971			
			3	0,281	0,281	0,281	0,281		12,429	0,946			
	30		1	0,301	0,301	0,301	0,301	0,009	13,765	2,029	1,993	0,077	
			2	0,299	0,299	0,299	0,299		13,631	2,046			
			3	0,316	0,316	0,316	0,316		14,766	1,904			
40	1	0,338	0,338	0,338	0,338	0,004	16,234	2,970	3,012	0,038			
	2	0,329	0,329	0,329	0,329		15,634	3,045					
	3	0,332	0,332	0,332	0,332		15,834	3,020					
50	1	0,328	0,328	0,328	0,328	0,003	15,567	4,304	4,281	0,031			
	2	0,329	0,329	0,329	0,329		15,634	4,295					
	3	0,335	0,335	0,335	0,335		16,034	4,245					

b. Parameter penentuan model isothermal adsorpsi

Ce	Qe	1/Ce	1/Qe	Log Ce	Log Qe
10,73	0,53	0,0932	1,8868	1,0306	-0,276
12,29	0,96	0,0814	1,0417	1,0896	-0,018
14,05	1,99	0,0712	0,5025	1,1477	0,2989
15,90	3,01	0,0629	0,3322	1,2014	0,4786
15,74	4,28	0,0635	0,2336	1,1970	0,6314



Isotermal Langmuir			Isotermal Freundlich			
Q_{max}	K_L	R^2	K_f	n	$1/n$	R^2
-0,324	-0,059	0,9677	0,0013	0,2010	4,9741	0,9706

*Model isotermal Langmuir

$$y = 52,219x - 3,0874$$

$$\text{intersep} = \frac{1}{Q_{max}} = -3,0874$$

$$Q_{max} = \frac{1}{\text{intercept}} = \frac{1}{-3,0874} = -0,324$$

$$K_L = \frac{1}{Q_{max} \times \text{slope}} = \frac{1}{-0,324 \times 52,219} = -0,059$$

* Model isotermal Freundlich

$$y = 4,9741x - 5,4138$$

$$\text{intersep} = \log K_f = -5,4138$$

$$K_f = 10^{-5,4138} = 0,0013$$

$$n = \frac{1}{\text{slope}} = \frac{1}{4,9741} = 0,2010$$