BAB I
PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang Masalah

Indonesia sebagai negara penghasil kelapa sawit terbesar di dunia, otomatis menghasilkan limbah yang besar. Sebanyak 1 ton Tandan Buah Segar (TBS) umumnya akan menghasilkan sebanyak 21% Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS). Tandan kosong kelapa sawit dibiarkan menumpuk dan tidak termanfaatkan. Beberapa peneliti mengidentifikasi potensi tandan kosong kelapa sawit sebagai sumber energi terbarukan. Kelapa sawit mendominasi perkebunan di Indonesia, terutama wilayah Sumatera dan Kalimantan. Tinggi pohon kelapa sawit mencapai 20 – 24 meter. Setiap pohon dapat menghasilkan 20 tandan buah segar per tahun dengan berat satuan buah mencapai 20 kg. Pabrik kelapa sawit menghasilkan limbah biomassa baik berbentuk padat maupun cair Novita dkk., 2022).

Biomassa pengolahan pabrik kelapa sawit terdiri dari Meso*carf Fibre, Palm Kernel Shell*, Tandan Kosong Kelapa Sawit (*Empty Fruit Bunch*/TKKS), dan *Palm Oil Mills Effluent* (POME). Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS) sering dimanfaatkan karena ketersediaannya yang melimpah sehingga lebih efisien untuk mengurangi limbah, TKKS juga memiliki kandungan karbon yang tinggi, menjadikannya bahan baku yang potensial untuk produksi karbon aktif (Praevia dan Widayati, 2022).

Karbon aktif merupakan material yang memiliki pori-pori mikroskopis yang sangat besar, memungkinkan kapasitas adsorpsi yang tinggi terhadap berbagai jenis polutan, termasuk gas, cairan, dan bahan kimia lainnya. Proses pembuatan karbon aktif dari biomassa seperti TKKS umumnya melibatkan aktivasi termal atau kimia, yang dapat meningkatkan luas permukaan dan porositasnya, sehingga lebih efektif dalam menyerap zat-zat berbahaya (Kristianto, 2017). Karbon aktif telah lama digunakan dalam berbagai aplikasi, mulai dari pemurnian udara dan air,

penyaringan, hingga pengolahan limbah industri. Salah satu aplikasi utamanya adalah sebagai adsorben dalam penghilangan Amonia (NH_3) dari udara, yang merupakan polutan berbahaya yang dihasilkan dari proses industri dan pertanian (Desfitri dkk., 2024).

Amonia (NH_3) adalah gas beracun yang dapat mencemari lingkungan, terutama udara dan air. Amonia umumnya dihasilkan dari aktivitas industri, pertanian, dan pembuangan limbah cair. Senyawa ini memiliki sifat korosif dan dapat menyebabkan masalah kesehatan pada manusia, seperti gangguan pernapasan dan iritasi mata. Oleh karena itu, pengelolaan dan pengurangan kadar Amonia di lingkungan sangat penting untuk menjaga kualitas udara dan kesehatan manusia. Penggunaan karbon aktif sebagai adsorben untuk Amonia sudah banyak diterapkan karena karbon aktif memiliki struktur berpori yang luas, kemampuan penyerapan yang tinggi, dan biaya produksi yang relatif rendah. Namun, kendala yang sering ditemui adalah ketidakteraturan distribusi ukuran pori dan interaksi permukaan yang lemah antara adsorben dan adsorbat (Han *et al*., 2020).

Komponen utama limbah pada kelapa sawit ialah selulosa dan lignin, sehingga limbah ini disebut sebagai limbah *lignoselulosa* (komponen utama tumbuhan). TKKS merupakan biomassa yang kaya akan unsur karbon sehingga membuat TKKS memiliki potensi sebagai karbon aktif. Karbon aktif memiliki banyak kegunaan sebagai adsorben karena memilki daya penyerapan yang tinggi akibat adanya pori pada material karbon aktif. Proses pembuatan karbon aktif terdiri dari tiga tahapan yaitu tahap dehidrasi, karbonisasi, dan proses aktivasi. (Trilaksana dan Akbar, 2017).

Penyerapan menggunakan karbon aktif umumnya digunakan untuk adsorpsi senyawa organik karena porositasnya yang besar, hidrofobisitas yang berfungsi sebagai stabilitas surfaktan dalam modifikasi karbon aktif, dan kemudian biayanya yang relatif murah. Namun, ketidakteraturan distribusi ukuran pori dan interaksi permukaan adsorbat dengan adsorbennya lemah (Munoz-Senmache *et al*., 2020).

Komposit merupakan sebuah perpaduan dari bahan material yang akan digunakan dan dimanfaatkan dalam berbagai pengaplikasian. Komposit adalah suatu material yang diperoleh melalui cara penggabungan dari dua buah material atau lebih yang memiliki perbedaan secara makroskopik (Suroso dan Rajawali,

2019). Salah satu contoh karbon aktif komposit yaitu yang berbahan MOFs (*Metal Organik Frameworks*). Penelitian Bhrada *et al.* (2017) tentang komposit MOFs menunjukkan bahwa kerangka logam organik (MOFs) ideal sebagai dengan pori yang teratur. MOFs sebagai bahan berpori lebih menjanjikan dan unik karena fungsi tekstur dan kimianya yang dapat disesuaikan.

Metal Organik Frameworks (MOFs) adalah bahan berpori yang memiliki struktur teratur dan luas permukaan tinggi, memungkinkan interaksi yang lebih efisien dengan polutan. Kombinasi MOFs dengan karbon aktif, seperti dalam komposit, meningkatkan kapasitas adsorpsi untuk kontaminan, termasuk ion Amonia. Studi menunjukkan bahwa komposit karbon aktif-MOFs menunjukkan sifat kesetimbangan yang mendekati model isoterm Freundlich dan kinetika pseudo orde dua, yang mengindikasikan interaksi yang efektif dengan senyawa target. (Taer dkk., 2016). *Metal-organic frameworks* (MOFs) adalah material baru yang memiliki banyak potensi aplikasi, salah satunya untuk meningkatkan kemampuan adsorpsi. MOF memiliki karakteristik yang unik, seperti pori-pori yang besar dan luas permukaanyang tinggi (Ren *et al*., 2020).

MOFs terdiri dari rakitan ion logam djasman ligan organik yang merupakan bahan kristal. MOFs digunakan karena mampu secara efektif dalam mempertahankan struktur pori, memiliki luas permukaan spesifik yang besar, konduktivitas, dan stabilitas tinggi (Ren *et al*., 2020). MOFs terdiri dari rakitan ion logam dan ligan organik yang merupakan bahan kristal (Zubir *et al*., 2019). MOFs juga bisa digunakan secara efektif untuk pemurnian air, seperti untuk menghilangkan polutan organik dan logam berat dari air. Struktur berpori MOFs dapat mengadsorpsi zat-zat beracun, dan beberapa MOFs dapat dimodifikasi untuk memiliki afinitas tinggi terhadap senyawa tertentu, meningkatkan efektivitasnya dalam aplikasi ini (Cao *et al*., 2021).

Penelitian mengenai komposit karbon aktif (KA) dengan logam dan ligan telah menunjukkan beragam hasil yang menjanjikan untuk aplikasi adsorpsi, khususnya untuk adsorpsi Amonia. Percobaan dengan perbandingan logam : ligan : KA sebesar 1 : 3 : 2, yang menghasilkan karbon aktif dengan pori yang lebih besar dibandingkan dengan komposit KA-$Fe(TAC)_3$. Karakterisasi SEM menunjukkan bahwa karbon aktif memiliki rongga pori yang lebih luas, sedangkan analisis EDX memperlihatkan kandungan unsur besi (Fe) pada MOFs $Fe(TAC)_3$ dan KA-

$Fe(TAC)_3$ dalam persentase kecil. Hal ini mengindikasikan bahwa interaksi antara karbon aktif dan logam besi masih terbatas (Nadeak, 2023).

Penelitian lainnya oleh Tanjung (2023) menggunakan perbandingan logam : ligan : KA sebesar 2 : 2 : 2. Hasil karakterisasi SEM menunjukkan bahwa MOFs $Fe(TAC)_3$ membentuk partikel yang menggumpal, sedangkan KA-MOFs $Fe(TAC)_3$ memiliki morfologi permukaan yang tidak teratur, dengan serabut-serabut yang saling berikatan. Meskipun demikian, perbandingan terbaik ditemukan dengan perbandingan logam : ligan : KA sebesar 1 : 2 : 3. Dalam penelitian ini, karbon aktif memberikan ruang yang cukup untuk logam dan ligan untuk berikatan, menghasilkan banyak pori yang terbuka. Asam tereftalat, sebagai ligan, berperan penting dalam mengikat dua sisi logam, yang meningkatkan luas permukaan, ukuran pori, dan volume sel komposit.

Karakterisasi EDX pada penelitian tersebut menunjukkan bahwa MOFs $Fe(TAC)_3$ dan KA-MOFs $Fe(TAC)_3$ membentuk struktur kristal monoklinik, yang menandakan keberhasilan pembentukan material yang homogen. Selain itu, karakterisasi SEM memperlihatkan bahwa permukaan material berbentuk butiran kasar, dan analisis EDX mengungkapkan kandungan karbon yang dominan (58,0%), dengan kandungan Fe yang lebih kecil (0,1%) pada MOFs $Fe(TAC)_3$. Hasil ini menunjukkan bahwa proses refluks berhasil mencampurkan unsur besi dalam matriks karbon aktif.

Penelitian terdahulu menunjukkan kurva isotherm tipe III hasil karakterisasi pada karbon aktif dan komposit KA-$Fe(TAC)_3$ mengindikasikan adanya adsorpsi pada permukaan material. Selain itu, hasil XRD menunjukkan struktur amorf pada karbon aktif dan struktur kristal pada komposit KA-$Fe(TAC)_3$, yang semakin menguatkan kesesuaian material untuk aplikasi adsorpsi. Berdasarkan temuan ini, penelitian ini diharapkan dapat menghasilkan komposit karbon aktif dengan logam Fe yang optimal untuk adsorpsi Amonia. Pemilihan logam Fe sebagai komponen utama didasarkan pada kemampuan interaksinya yang baik dengan molekul Amonia, kestabilan kimianya yang tinggi, serta kemampuan regenerasinya yang baik, yang menjadikan material ini sangat potensial untuk aplikasi industri dalam pengendalian polusi udara.

Berdasarkan uraian yang telah disampaikan diatas, maka peneliti tertarik untuk melakukan penelitian dengan mengangkat judul "**SIFAT KESETIMBANGAN**

ADSORPSI AMONIA DARI KOMPOSIT KARBON AKTIF TANDAN KOSONG KELAPA SAWIT DENGAN *METAL ORGANIC FRAMEWORKS* $Fe(TAC)_3$ "

1.2. Identifikasi Masalah

Adapun identifikasi masalah dalam penelitian ini diantaranya adalah:

1. Limbah cair industri yang mengandung amonia seperti pengolahan kelapa sawit mampu mencemari lingkungan, maka hal ini dapat menciptakan risiko bagi manusia dan ekosistem perairan termasuk eutrofikasi.
2. Seiring dengan meningkatnya jumlah produksi kelapa sawit sejalan dengan meningkatnya limbah yang dihasilkan. Seperti limbah tandan kosong kelapa sawit yang memiliki komposisi kimia yang kompleks sehingga memerlukan penanganan khusus untuk menghindari dampak negative yang ditimbulkan.
3. Karbon aktif mampu bekerja secara efisien dalam mengurangi amonia dalam air limbah, namun memiliki kekurangan pada distribusi ukuran pori dan interaksi permukaan adsorbat dengan adsorben masih menjadi masalah.
4. Pengembangan material adsorpsi baru seperti *Metal Organic Frameworks* (MOFs) menawarkan solusi yang berpotensi untuk meningkatkan efesiensi adsorpsi amonia. Namun, masih perlu penelitian lebih lanjut untuk memahami bagaimana pengaruh komposisi dan sifat material tersebut dalam menangkap amonia.

1.3. Ruang Lingkup

Adapun ruang lingkup dari penelitian ini menckaup:

1. Penelitian ini berfokus terhadap perkembangan metode adsorpsi untuk mengurangi kandungan amonia dalam limbah cair industri kelapa sawit, dengan tujuan mengurangi dampak negatifnya terhadap lingkungan.
2. Penelitian ini berfokus pada penggunaan karbon aktif TKKS sebagai adsorben utama serta, penggunaan *Metal Organic Frameworks* (MOFs) sebagai bahan tambahan untuk meningkatkan efesiensi adsorpsi.
3. Penelitian ini juga berfokus pada pengaruh variasi komposisi karbon aktif dan asam tereftalat dalam pembuatan komposit yang dapat mempengaruhi sifat kesetimbangan adsorpsi amonia.

4. Penggunaan logam besi (Fe) dan asam tereftalat (TAC) sebagai bahan baku utama dalam sintesi MOFs untuk mengikuti prinsip 3R *(Reduce, Reuse, Recycle).*
5. Pemeriksaan sifat fisikokimia dari komposit yang dihasilkan termasuk luas permukaan spesifik, distribusi ukuran pori, dan kemampuan adsorpsi terhadap amonia.
6. Penelitian ini akan memberikan kontribusi terhadap pengembangan metode adsorpsi yang efektif dan efesiensi dalam mengurangi limbah amonia pada limbah cair yang diahsilkan oleh Sebagian besar industry termasuk limbah cair industry kelapa sawit, dengan pemanfaatn bahan ramah lingkungan sehingga berpotensi untuk daur ulang.

1.4. Batasan Masalah

Adapun Batasan masalah dari latar belakang yang dapat diformulasikan sebagai berikut:

1. Limbah amonia yang dihasilkan dari proses industri pupuk dan pengolahan kelapa sawit, yang merupakan penyebab pencemaran lingkungan.
2. Metode adsorpsi sebagai solusi untuk mengurangi atau menghilangkan Amonia dari limbah cair. Metode ini menekankan pada karbon aktif dan menggunakan MOF sebagai komposit.
3. Pembuatan komposit adsorpsi dengan limbah tandan kosong kelapa sawit berfokus pada pengurangan limbah dan peningkatan nilai tambah.
4. Mempertimbangkan bagaimana logam besi (Fe) dan ligan organik (TAC) mempengaruhi pembentukan MOF sebagai bagian dari komposit adsorpsi. Tujuannya adalah untuk mengikuti prinsip 3R (*Reduksi, Reuse, and Recycle*) dan meningkatkan efektivitas adsorpsi.

1.5. Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah dari latar belakang penelitian ini yang dapat diformulasikan sebagai berikut:

1. Bagaimana karakteristik komposit karbon aktif dengan *Metal Organic Frameworks* $Fe(TAC)_3$ sebagai adsorben berdasarkan analisis XRD dan SEM?
2. Bagaimana kondisi optimum adsorpsi amonia pada komposit *Metal Organic Frameworks* $Fe(TAC)_3$ berdasarkan variasi massa adsorben, konsentrasi awal amonia, dan waktu kontak?
3. Bagaimana sifat kesetimbangan isoterm adsorpsi amonia pada komposit *Metal Organic Frameworks* $Fe(TAC)_3$?
4. Bagaimana sifat kinetika adsorpsi amonia pada komposit *Metal Organic Frameworks* $Fe(TAC)_3$?

1.6. Tujuan Penelitian

Adapun beberapa tujuan dari penelitian ini diantaranya:

1. Mengetahui karakteristik komposit karbon aktif dengan *Metal Organic Frameworks* $Fe(TAC)_3$ sebagai adsorben berdasarkan analisis XRD dan SEM?
2. Mengetahui kondisi optimum adsorpsi amonia pada komposit *Metal Organic Frameworks* $Fe(TAC)_3$ berdasarkan variasi massa adsorben, konsentrasi awal amonia, dan waktu kontak?
3. Mengetahui sifat kesetimbangan isoterm adsorpsi amonia pada komposit *Metal Organic Frameworks* $Fe(TAC)_3$?
4. Mengetahui sifat kinetika adsorpsi amonia pada komposit *Metal Organic Frameworks* $Fe(TAC)_3$?

1.7. Manfaat Penelitian

Adapun manfaat yang dapat diperoleh dalam penelitian ini yaitu:

1. Menambah wawasan dan informasi ilmiah dalam penggunaan komposit karbon aktif dengan *Metal Organic Frameworks* $Fe(TAC)_3$ sebagai adsorben untuk penyerapan amonia.
2. Menambah pemahaman tentang bagaimana adsorpsi amonia pada komposit *Metal Organic Frameworks* $Fe(TAC)_3$ melalui variasi massa, variasi konsentrasi dan variasi waktu.

3. Berperan sebagai sumber referensi kepada pembaca tentang sifat kesetimbangan *isotherm* adsorpsi amonia pada komposit *Metal Organic Frameworks* $Fe(TAC)_3$
4. Sebagai informasi terhadap pembaca mengenai sifat kinetika isotherm adsorpsi amonia pada komposit *Metal Organic Frameworks* $Fe(TAC)_3$.