

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang Masalah

Pencemaran udara yang disebabkan oleh kendaraan bermotor menjadi masalah lingkungan yang semakin krusial di Indonesia, terutama di kota-kota besar seperti Medan, ibu kota Provinsi Sumatera Utara. Pada tahun 2024, diperkirakan populasi penduduk Kota Medan mencapai sekitar 2,47 juta jiwa, yang tersebar di 21 kecamatan dengan kepadatan penduduk mencapai 9.358 jiwa per kilometer persegi. Seiring dengan bertambahnya jumlah penduduk, jumlah kendaraan bermotor di Medan juga terus meningkat, yang memperburuk kualitas udara di kota ini. Kenaikan jumlah kendaraan ini berkontribusi pada tingginya emisi gas buang yang mencemari udara, mengancam kesehatan masyarakat, serta memperburuk polusi yang sudah cukup parah di area perkotaan (Kagawa, 2002; Masiol & Harrison, 2014).

Polusi udara terjadi terutama akibat pelepasan gas dari kendaraan bermotor, yang terus bertambah setiap tahunnya, ini menjadi faktor utama yang memperburuk kualitas udara dan lingkungan (Faiz *et al.*, 1996; Brugha & Grigg, 2014; Miao *et al.*, 2019; Siregar *et al.*, 2021). Berdasarkan data dari Badan Pusat Statistik (BPS), pada tahun 2023 jumlah kendaraan bermotor di Indonesia meningkat sebesar 7,5% dibandingkan tahun sebelumnya. Di Provinsi Sumatera Utara, jumlah kendaraan mencapai 7.900.000 unit, termasuk sepeda motor, mobil, mobil penumpang dan bus. Proyeksi untuk tahun 2024 menunjukkan adanya peningkatan jumlah kendaraan bermotor di Indonesia sebesar 7% dibandingkan dengan tahun 2023. Sektor transportasi sendiri menyumbang sekitar 60-70% dari total emisi polusi udara, yang sebagian besar berasal dari kendaraan bermotor (Gunawan *et al.*, 2020). Besarnya kontribusi sektor transportasi terhadap polusi udara menyebabkan penurunan kualitas udara yang signifikan, berdampak langsung pada kesehatan manusia (Saepudin & Admono, 2005; Miller & Newby, 2020).

Berbagai polutan yang dihasilkan oleh kendaraan bermotor, seperti karbon monoksida (CO), hidrokarbon (HC), nitrogen oksida (NO_x), karbon dioksida (CO₂), sulfur dioksida (SO₂), dan timah hitam (Pb) dapat berdampak buruk pada kesehatan

manusia (Aziz & Bajza, 2007; Gasana *et al.*, 2012; Leroutier & Quirion, 2022). Di antara berbagai polutan, karbon monoksida (CO) menjadi salah satu yang paling banyak dihasilkan dari emisi kendaraan bermotor. Karbon monoksida, yang sering disebut sebagai "pembunuh tersembunyi" atau *silent killer*, adalah gas beracun yang tidak berwarna, tidak berbau, dan lebih ringan dari udara namun sangat berbahaya (Saleh, 2018). Ketika seseorang menghirup gas CO, tubuh dapat mengalami tekanan darah menurun, kejang, masalah pada sistem jantung serta pernapasan, hilangnya kesadaran, hingga koma (Omaye, 2002; Teksam *et al.*, 2010; Gozubuyuk *et al.*, 2017; Vlisides *et al.*, 2022). Paparan yang berkepanjangan dan konsentrasi CO yang tinggi dapat menyebabkan penurunan kesadaran hingga kematian, karena gas ini memiliki kemampuan untuk berikatan dengan Hb (hemoglobin) dalam sel darah merah. CO mampu menggantikan oksigen dalam hemoglobin hingga 200-250 kali lebih kuat dibandingkan dengan oksigen yang menyebabkan turunnya kemampuan darah untuk mengangkut oksigen yang sangat dibutuhkan tubuh (Sengkey *et al.*, 2011; Faradilla *et al.*, 2016; Raming *et al.*, 2022).

Untuk mengurangi emisi gas buang yang dihasilkan oleh kendaraan bermotor, salah satu metode yang dapat diterapkan adalah dengan memodifikasi sistem pembuangan gas (Irawan, 2003). Salah satu inovasi yang diterapkan adalah menggunakan konverter yang mampu mengubah karbon monoksida (CO) menjadi karbon dioksida (CO₂). Konverter ini dipasang di antara exhaust manifold dan muffler, sehingga gas buang yang keluar dari mesin dapat melalui konverter sebelum dilepaskan ke udara (Lapisa *et al.*, 2019). Konverter ini bisa dibuat dengan memanfaatkan abu layang, yang merupakan bahan limbah dari industri pulp. Penelitian menunjukkan bahwa abu layang terbukti efektif dalam mengurangi polusi udara, dengan kemampuan mengurangi emisi CO hingga 65%, hidrokarbon (HC) hingga 75%, dan menyerap hingga 59% dari total polutan (Jahro & Pangabean, 2011). Meskipun demikian, hasil yang diperoleh dari konverter berbahan abu layang masih belum optimal, sehingga dilakukan pengembangan lebih lanjut dengan menambahkan katalis pada konverter tersebut. Dengan adanya katalis, maka konverter ini dikenal dengan sebutan konverter katalitik. Katalis yang digunakan dalam konverter katalitik dapat berasal dari berbagai bahan, seperti tembaga, magnesium, zeolit, kaolin, hingga arang, yang berfungsi untuk

mempercepat reaksi kimia dalam konversi gas berbahaya (Nusantara & Ghofur, 2022).

Upaya pengendalian emisi gas buang dari kendaraan dapat dilakukan dengan menggunakan konverter yang terbuat dari limbah padat pulp, dikombinasikan dengan katalis zeolit yang berasal dari abu sekam padi (Kurniawan, 2018; Perangin-Angin, 2018). Teknologi konverter katalitik ini efektif menyaring zat polutan berbahaya dalam gas buang, sehingga setelah melewati konverter, gas tersebut berubah menjadi lebih ramah lingkungan dan memenuhi standar emisi yang aman bagi kesehatan manusia. Dengan demikian, konverter katalitik berbahan limbah ini tidak hanya berkontribusi dalam mengatasi pencemaran udara tetapi juga memanfaatkan bahan limbah, sehingga menjadi solusi bagi pengelolaan limbah sekaligus pengurangan polusi udara.

Di Sumatera Utara, limbah padat pulp yang dihasilkan oleh PT. Toba Pulp Lestari, Tbk, perusahaan yang memanfaatkan kayu *eucalyptus* sebagai bahan baku pulp, dapat menyebabkan pencemaran tanah jika tidak dikelola dengan tepat. Berdasarkan data yang ada, jumlah limbah padat pulp yang dihasilkan oleh PT. Toba Pulp Lestari Porsea cukup signifikan, mencapai hampir 7 ton per hari, yang terdiri dari *grits*, *dregs*, dan *biosludge*. Limbah-limbah ini merupakan hasil sampingan dari proses pengolahan pulp di pabrik (Modolo *et al.*, 2010; Simão *et al.*, 2018; Quina & Pinheiro, 2020). Hasil analisis menunjukkan bahwa limbah tersebut mengandung komponen penyusun keramik seperti tanah liat, *feldspar*, dan silika (Khoirani, 2021), telah banyak dimanfaatkan sebagai bahan bangunan seperti semen dan keramik karena komposisi lignoselulosanya yang tinggi dapat memberikan kekuatan mekanik. Limbah tersebut memiliki peluang untuk dikembangkan menjadi bahan baku yang bernilai ekonomi tinggi, salah satunya dalam bentuk konverter. Namun, hasil dari konverter tersebut saat ini masih rendah dan perlu ditingkatkan lebih lanjut agar dapat mencapai efisiensi yang optimal. Ini merupakan solusi inovatif dalam pengelolaan limbah industri yang berkelanjutan, tetapi masih memerlukan pengembangan dan penelitian lebih lanjut diperlukan untuk memaksimalkan kinerjanya.

Zeolit merupakan mineral alami yang memiliki struktur kristal berpori yang dapat digunakan dalam berbagai aplikasi industri, termasuk sebagai katalis dalam proses kimia. Secara kimia, zeolit terdiri dari silikat alumina dengan rumus umum $M_{x/n}(AlO_2)_x(SiO_2)_y \cdot zH_2O$, di mana M menunjukkan kation yang dapat dipertukarkan di luar kerangka struktur (Silalahi *et al.*, 2011). Zeolit terbagi menjadi dua jenis, yaitu zeolit alam dan sintetis. Zeolit sintetis lebih unggul karena kemurnian yang lebih tinggi dan ukuran pori-pori yang lebih seragam, menjadikannya lebih efisien dalam berbagai aplikasi industri (Ghifari *et al.*, 2017; Solihat *et al.*, 2020). Hingga kini, berbagai jenis struktur zeolit telah berhasil disintesis, termasuk zeolit A (Saraswati, 2016), zeolit X (Bahri, 2015; Yao *et al.*, 2018), zeolit Y (Dabbawala *et al.*, 2020; Wang *et al.*, 2020), dan T (Maghfirah *et al.*, 2020; Zagho *et al.*, 2021). Keunggulan-keunggulan ini membuat zeolit sintetis sangat potensial dalam proses katalisis, di mana struktur dan kemurnian zeolit yang lebih terkendali memberikan hasil yang lebih optimal dibandingkan dengan zeolit alami. Oleh karena itu, penggunaan zeolit sintetis dalam aplikasi katalis sangat menjanjikan dalam meningkatkan efisiensi dan efektivitas proses kimia industri.

Pembuatan zeolit sintetis memerlukan sumber silikat dan aluminat (Clifton, 1987; Król, 2020; Solihat *et al.*, 2020). Saat ini, para peneliti berupaya mengurangi biaya dengan mengekstraksi silika dari limbah pertanian sebagai pengganti silika berkualitas tinggi (Anuar *et al.*, 2018; Azlin & Syufiana, 2022). Limbah pertanian, khususnya abu yang mengandung silika, memiliki potensi besar sebagai bahan baku karena setiap spesies tanaman memiliki komposisi kimia yang konsisten, serta produk akhirnya mengandung pengotor oksida logam dalam kadar rendah sehingga membutuhkan proses yang lebih sederhana. Berbagai eksperimen telah dilakukan untuk mengekstraksi silika dari limbah pertanian seperti sekam padi (Todkar *et al.*, 2016; Arnelli *et al.*, 2017; Islam *et al.*, 2018), limbah sawit (Pa *et al.*, 2016), abu tongkol jagung (Wardhani *et al.*, 2017), ampas tebu (Norsuraya *et al.*, 2016), abu sekam gandum (Shaikh *et al.*, 2015) dan serbuk gergaji kayu jati (Saputro *et al.*, 2017). Sekam padi, yang merupakan 20% dari limbah pertanian, mengandung silika sebagai unsur utama dalam kadar 93-99% dari total komponen penyusunnya (Sy & Mardina, 2013; Safitri *et al.*, 2017; Oktaviany *et al.*, 2021). Sekam padi tidak hanya memiliki kadar silika tinggi dan biaya rendah, tetapi juga melimpah dan dapat

diperbarui, sehingga cocok untuk bahan dasar zeolit sintetik.

Pada penelitian ini, *X-Ray Fluorescence* (XRF) digunakan untuk menganalisis abu sekam padi untuk memastikan kadar dan jenis komponen kimia. Sintesis zeolit dilakukan dengan metode hidrotermal, sementara karakterisasi zeolit hasil sintesis dilakukan menggunakan *Fourier Transform Infrared* (FTIR), *X-Ray Diffraction* (XRD), *X-Ray Fluorescence* (XRF), serta *Scanning Electron Microscope* (SEM) untuk memverifikasi struktur, komposisi, dan morfologi zeolit yang dihasilkan. Pendekatan ini dirancang untuk menghasilkan zeolit dengan karakteristik unggul yang dapat digunakan secara efektif dalam berbagai sektor industri. Selain itu, karakterisasi morfologi limbah padat pulp dan konverter katalitik juga dilakukan menggunakan *Scanning Electron Microscope* (SEM).

Penelitian ini akan berfokus pada pengaruh variasi jumlah lubang pada konverter katalitik terhadap efektivitas dan daya tahan alat tersebut. Berdasarkan penelitian sebelumnya (Amalia, 2024), konverter katalitik berbahan zeolit X menunjukkan hasil optimal dengan rasio campuran 4:5 antara zeolit dan limbah pulp, serta performa terbaik dicapai dengan jumlah lubang sebanyak 7. Namun, variasi jumlah lubang lainnya seperti 6, 8, 9, dan 10 belum diteliti secara mendalam. Oleh karena itu, studi ini bertujuan untuk mengoptimalkan riset sebelumnya dengan menguji berbagai variasi jumlah lubang tersebut guna memperoleh hasil yang lebih komprehensif dalam meningkatkan performa konverter katalitik berbahan limbah.

Melalui penelitian ini, diharapkan tercipta inovasi dalam konverter katalitik yang dapat mengurangi emisi kendaraan bermotor, juga menyediakan solusi dalam pengelolaan limbah padat pulp dari industri pulp. Selain itu, penggunaan zeolit X yang disintesis dari abu sekam padi juga dapat memberikan solusi yang ramah lingkungan dan berkelanjutan dalam mengurangi pencemaran udara. Dengan demikian judul penelitian yang akan penulis lakukan yaitu **“Pengaruh Variasi Jumlah Lubang terhadap Kualitas Konverter Katalitik menggunakan Limbah Padat Pulp dan Zeolit X dari Abu Sekam Padi”**.

1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah dijabarkan, maka rumusan masalah pada penelitian ini adalah:

1. Bagaimana kualitas zeolit X hasil sintesis dari abu sekam padi?
2. Bagaimana pengaruh variasi jumlah lubang terhadap daya kerja konverter katalitik?
3. Bagaimana pengaruh variasi jumlah lubang terhadap sifat mekanik (daya tahan suhu dan tekanan) konverter katalitik?

1.3. Batasan Masalah

Agar penelitian ini dapat berjalan dengan efektif dan mencapai sasaran yang diinginkan maka dari itu maka penelitian dibatasi pada :

1. Sintesis zeolit X dari abu sekam padi dengan komposisi dan kondisi yang optimum.
2. Pembuatan konverter katalitik dari limbah padat pulp dan zeolit X hasil sintesis sebagai katalis.
3. Dilakukan variasi jumlah lubang pada konverter katalitik dengan jumlah yaitu, 6, 7, 8, dan 9.
4. Hasil konverter katalitik di karakterisasi dan di uji daya kerja serta daya tahannya terhadap suhu dan tekanan.

1.4. Tujuan Penelitian

Adapun yang menjadi tujuan pada penelitian ini adalah untuk mengetahui :

1. Data dan informasi mengenai kualitas zeolit X hasil sintesis dari abu sekam padi.
2. Data dan informasi mengenai pengaruh variasi jumlah lubang terhadap daya kerja konverter katalitik.
3. Data dan informasi mengenai pengaruh variasi jumlah lubang terhadap sifat mekanik (daya tahan suhu dan tekanan) konverter katalitik.

1.5. Manfaat Penelitian

Penelitian ini bermanfaat secara teoritis dan praktis. Secara teoritis, penelitian ini dapat menjadi referensi penting bagi peneliti lain dalam sintesis dan karakterisasi konverter katalitik dengan katalis zeolit X, serta menilai relevansi teori yang digunakan. Secara praktis, penelitian ini diharapkan memberikan solusi dalam pengelolaan limbah sekam padi dan limbah padat pulp, mengurangi polusi emisi kendaraan bermotor, dan menghasilkan modifikasi konverter katalitik yang lebih efektif.

