

BAB I

PENDAHULUAN

I.1. Latar Belakang

Konsumsi avtur Indonesia sejak 2010 terus mengalami peningkatan, Badan Pengelola Dana Perkebunan (BPDP) menyebutkan bahwa pada mulanya konsumsi avtur Indonesia hanya 3,5 juta kiloliter, menjadi 5 juta kiloliter pada tahun 2023. Kebutuhan ini mendorong kebutuhan impor avtur Indonesia dari 201,7 ribu ton menjadi 1,4 juta ton pada periode yang sama. Seiring dengan peningkatan ketergantungan Indonesia pada avtur berbahan dasar fosil, hal ini berdampak besar pada kerusakan iklim global. Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM) menyebutkan sektor transportasi udara menyumbang hingga 2% pada emisi karbon global. Salah satu upaya yang dilakukan pemerintah untuk mengatasi hal ini adalah pembuatan kebijakan dari Kementerian ESDM untuk mewajibkan adanya pencampuran bioavtur sekurang-kurangnya 5% pada 2030. Maka dari itu, Indonesia dihadapkan pada urgensi untuk dapat memproduksi bioavtur secara mandiri.

Salah satu sumber nabati yang potensial untuk bioavtur adalah minyak kelapa. Minyak kelapa dipilih karena komposisi utamanya adalah asam lemak rantai C₈-C₁₆ sebanyak 92% dengan komposisi tertinggi dimiliki oleh asam laurat (C₁₂) sebanyak 57% (Isyanti & Sirait, 2021). Indonesia, sebagai negara tropis, merupakan negara dengan produksi kelapa terbesar di dunia. *Food and Agriculture Organization* (FAO), menyebutkan bahwa produksi kelapa Indonesia mencapai 17,13 juta ton pada 2025 dan diperkirakan akan terus meningkat. Dalam proses

konversi minyak kelapa menjadi bioavtur dibutuhkan katalis yang memiliki karakteristik yang mendukung, seperti luas permukaan yang tinggi, ukuran pori yang cukup besar, dan selektivitas terhadap reaksi deoksigenasi dan hidrogenasi yang tinggi. Katalis yang prospektif adalah katalis NiMoS berpengemban silika mesopori dari sekam padi yang disintesis dengan metode integrasi sonikasi dan refluks karena memiliki karakteristik fisika-kimia yang sesuai.

Silika mesopori adalah material yang banyak dipakai sebagai adsorbat, aplikasi biomedis, dan katalis heterogen karena karakteristik strukturalnya. Silika mesopori banyak digunakan sebagai pengemban katalis karena struktur porinya yang teratur dengan ukuran pori yang seragam, bentuk pori silinder, luas permukaan aktif yang besar, dan volume yang tinggi (Candela-Noguera dkk., 2024). Selain itu, silika mesopori memiliki ukuran pori rentang 2-10 nm, volume pori bisa mencapai $1,3 \text{ m}^2\text{g}^{-1}$, dan luas permukaan hingga 1500 m^2 (Grü dkk., 1999). Di samping itu, kestabilan termalnya yang baik juga menjadi faktor yang membuat silika mesopori potensial untuk dijadikan sebagai pengemban untuk katalis. Salah satu keunggulan silika mesopori adalah parameter sintesis yang mudah disesuaikan agar dapat menghasilkan bentuk pori yang sesuai dengan keinginan. Kelebihan ini membuat silika mesopori banyak diaplikasikan sebagai pengemban katalis untuk reaksi konversi biofuel.

Sumber silika yang umum digunakan adalah *Tetraethyl orthosilicate* (TEOS), *Tetramethyl orthosilicate* (TMOS), *Tetrabutyl orthosilicat* (TBOS), dan prekursor silika komersial lainnya. Namun, akibat harganya cukup tinggi maka dicari alternatif prekursor lain yang lebih aksesibel. Berdasarkan penelitian Rajput

dkk. (2025) disebutkan bahwa abu sekam padi sangat potensial menjadi sumber silika karena dapat menghasilkan kapasitas adsorpsi yang sama tingginya dengan sumber komersial. Abu sekam padi diindikasikan mengandung silika hingga 87–97% dari beratnya (Padang dkk., 2022). Temuan ini menjadikan sekam padi alternatif yang menjanjikan sebagai sumber silika. Terlebih lagi, ketersediaannya di alam sangat tinggi. Bawa Susana & Wiry Aryadi (2025) melaporkan bahwa Indonesia menghasilkan sekitar 11 juta ton sekam padi pada 2024. Maka dari itu, penggunaan sekam padi sebagai sumber silika untuk katalis berbasis NiMoS bukan hanya lebih efisien secara ekonomi, tetapi juga dapat meningkatkan nilai guna sekam padi sebagai sumber silika ramah lingkungan untuk pengembangan katalis pada proses konversi minyak kelapa menjadi bioavtur .

Proses kondensasi dan hidrolisis adalah parameter yang paling krusial dalam mempengaruhi pembentukan pori pada silika mesopori (Candela-Noguera dkk., 2024). Sejauh ini ada dua proses kondensasi yang paling banyak digunakan, yaitu metode refluks dan hidrotermal. Pada reaksi hidrolisis-kondensasi yang berjalan di bawah kondisi refluks atau hidrotermal inilah laju polimerisasi silika dan *self-assembly* templat surfaktan menentukan karakteristik pori silika yang terbentuk.

Pada metode sintesis hidrotermal, waktu reaksi yang dibutuhkan cukup lama dan ukuran pori yang sulit dikendalikan, akan tetapi luas permukaan yang dihasilkan dari metode ini cukup besar. Luas permukaan silika mesopori yang diperoleh S. Xu dkk. (2023) pada penelitiannya dalam mensintesis silika mesopori menggunakan metode hidrotermal adalah $495 \text{ m}^2\text{g}^{-1}$. Sementara pada metode refluks waktu yang dibutuhkan lebih cepat, namun luas permukaan yang dihasilkan

lebih kecil dengan porositas rendah. Wijaya dkk. (2024) dalam penelitiannya menyatakan bahwa luas permukaan silika mesopori tertinggi yang didapatkan melalui metode refluks adalah $206 \text{ m}^2\text{g}^{-1}$. Dalam menghadapi hambatan ini, perlu dilakukan penelitian mengenai pengaruh penambahan perlakuan sonikasi pada metode refluks untuk mengatasi hambatan tersebut sehingga dapat menghasilkan katalis dengan ukuran pori sesuai, luas permukaan tinggi, dan waktu sintesis cepat. Salah satu caranya adalah dengan integrasi dua metode kondensasi, yaitu kondensasi refluks dan ultrasonik. Perlakuan sonikasi diharapkan dapat meningkatkan laju reaksi hidrolisis-kondensasi, mengurangi aglomerasi, dan meningkatkan pembentukan pori (R. Zhang dkk., 2020).

Paparan gelombang ultrasonik dari sonikasi yang diaplikasikan pada proses sintesis silika mesopori akan menyebabkan terjadinya fenomena gelembung kavitasi, yaitu proses mulai dari pembentukan, pertumbuhan, hingga pemecahan gelembung pada titik kritis. Ultrasonik adalah gelombang longitudinal yang menyebabkan partikel-partikel mengalami ekspansi dan kompresi secara terus-menerus. Akibatnya, gaya intermolekular melemah sehingga terbentuklah gelembung kavitasi. Gelembung kavitasi ini menyimpan energi dan temperatur tinggi, di mana ketika gelembung ini pecah, maka energi dan panasnya akan ditransfer ke lingkungan sekitar sehingga menyebabkan peningkatan laju reaksi hidrolisis-kondensasi dan distribusi larutan. Sebagai konsekuensi peristiwa ini maka dapat dihasilkan karakteristik pori dari silika mesopori yang lebih baik, seperti distribusi pori lebih seragam, luas permukaan lebih besar, dan porositas lebih tinggi dengan waktu sintesis lebih singkat (Główniak dkk., 2023a).

Di samping itu, untuk meningkatkan kinerja, dilakukan penambahan logam transisi yang dapat bertindak sebagai penyedia situs aktif. Logam transisi dapat menyediakan orbital d dan f yang berpartisipasi dalam reaksi katalisis. Logam ini dapat menyediakan orbital kosong yang berperan dalam pembentukan kompleks yang merupakan mekanisme dalam reaksi katalisis (Farhan & Khuder, 2025). Logam yang banyak digunakan untuk reaksi katalisis hidrorengkah adalah nikel dan molibdenum karena ketahanannya terhadap suhu tinggi, kemampuannya yang baik dalam mengkatalisis reaksi hidrorengkah dan hidrodeoksigenasi, serta kemampuan mengurangi kokas yang terbentuk dalam proses konversi minyak kelapa menjadi bioavtur. Nikel berperan dalam mengkatalisis reaksi hidrogenasi dan hidrodeoksigenasi karena dapat menyediakan situs aktif untuk penambahan hidrogen pada molekul tak jenuh. Sementara peran katalisis reaksi deoksigenasi langsung disediakan oleh molibdenum, hal ini disebabkan molibdenum dapat meningkatkan pemutusan ikatan oksigen akibat dari tingkat elektronegativitasnya yang tinggi (Burimsitthigul dkk., 2021). Efek sinergis kedua logam ini yang menjadikan reaksi katalisis minyak kelapa menjadi bioavtur dapat terjadi secara optimal.

Reaksi utama yang terjadi dalam proses konversi minyak kelapa menjadi bioavtur antara lain hidrorengkah, hidrogenasi, deoksigenasi, dan dekarboksilasi. Aktivitas katalis bergantung pada seberapa banyak reaksi tersebut terjadi. Perlakuan sulfidasi logam katalis telah menunjukkan peningkatan selektivitasnya terutama pada reaksi hidrogenasi dan deoksigenasi. Peristiwa ini disebabkan oleh perubahan efek geometri (*ensemble effect*) akibat penambahan sulfur pada fasa

logam. Penambahan sulfur dapat meningkatkan kekuatan adsorpsi situs logam terhadap senyawa oksigenat dan membatasi situs aktif yang berdekatan sehingga mengurangi kemungkinan pemutusan rantai karbon berlebih (Mussa dkk., 2024).

Katalis NiMoS berpengemban silika mesopori memiliki karakteristik distribusi pori yang seragam, ukuran pori yang memadai untuk molekul minyak kelapa, luas permukaan spesifik yang tinggi, dan kemampuan menyediakan situs aktif yang lebih terdistribusi. Karakteristik-karakteristik tersebut menunjukkan prospeknya yang tinggi dalam mengkatalisis reaksi konversi minyak kelapa menjadi bioavtur. Maka disimpulkan bahwa penentuan waktu optimal dalam metode sonikasi juga berperan penting dalam menghasilkan struktur silika mesopori dengan karakteristik yang maksimal. Faktor-faktor tersebut membuat penelitian mengenai pengaruh waktu sonikasi terhadap karakteristik katalis NiMoS berpengemban silika mesopori penting untuk dilakukan.

I.2. Tujuan Penelitian

- a. Menentukan pengaruh waktu sonikasi pada karakteristik silika mesopori sebagai pengemban katalis NiMoS yang telah berhasil disintesis
- b. Menentukan pengaruh waktu sonikasi pada aktivitas dan selektivitas katalis NiMoS berpengemban silika mesopori untuk proses katalisis pada reaksi konversi minyak kelapa menjadi bioavtur melalui Uji GC-MS