UNIVERSITAS
GADJAH MADA
**Sintesis Katalis Silika Gel Berpori Meso dari Abu Daun Salak Terimpregnasi Logam Molibdenum Untuk
Produksi Bioavtur dari Minyak Dedak Padi Berbantuan Gelombang Mikro**
Dhimas Bagus Kurniawan, Prof. Dr.rer.nat. Karna Wijaya, M.Eng.;Akhmad Syoufian, S.Si., Ph.D.
Universitas Gadjah Mada, 2025 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

SYNTHESIS OF MESOPOROUS SILICA GEL CATALYST FROM SALACCA LEAVES ASH IMPREGNATED WITH MOLYBDENUM METAL FOR BIO-JET FUEL PRODUCTION FROM RICE BRAN OIL ASSITED BY MICROWAVE

Dhimas Bagus Kurniawan
24/548034/PPA/06914

ABSTRACT

The global reliance on fossil fuels has triggered an energy crisis and increased greenhouse gas emissions. The aviation sector contributes significantly to these emissions. Therefore, researchers are developing bio-jet fuel from vegetable oil as a low-emission, renewable fuel. In this study, a molybdenum-impregnated mesoporous silica (Mo/MS) catalyst was successfully synthesized from salacca leaves ash and applied to convert rice bran oil into bio-jet fuel using a microwave reactor. Catalyst characterization was performed using XRF, FTIR, XRD, NH_3−TPD, H_2−TPR, SAA, SEM-EDX mapping, TEM, and XPS. The hydrotreatment process was carried out using an atmospheric microwave reactor with optimization of the catalyst:feed ratio (0.5:100, 1:100, and 2:100), microwave power (400, 600, and 800 W), and reaction contact time (15, 30, and 45 minutes). The liquid product from hydrotreatment was analyzed by GC-MS to determine the bio-jet fuel percentage and yield.

The results showed that a molybdenum metal concentration of 5% (w/w) produced Mo 5/MS with the highest total acidity value (0.0265 mmol/g NH3) compared to other concentrations. The Mo 5/MS catalyst had the lowest specific surface area and total pore volume, and the highest average pore diameter, among other Mo/MS catalysts. In line with these catalyst characteristics, it produced the highest bio-jet fuel yield among the catalysts at 41.19% (w/w). Furthermore, after optimizing the catalyst:feed ratio, microwave power, and reaction contact time, a yield of 63.85% (w/w) was obtained. This catalyst also shows good reusability, and after regeneration, the liquid product and bio-jet fuel yields are better than those obtained after the second use.

Keywords: bio-jet fuel, microwave, molybdenum, rice bran oil, salacca leaves ash

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
**Sintesis Katalis Silika Gel Berpori Meso dari Abu Daun Salak Terimpregnasi Logam Molibdenum Untuk
Produksi Bioavtur dari Minyak Dedak Padi Berbantuan Gelombang Mikro**
Dhimas Bagus Kurniawan, Prof. Dr.rer.nat. Karna Wijaya, M.Eng.;Akhmad Syoufian, S.Si., Ph.D.
Universitas Gadjah Mada, 2025 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

BAB I
PENDAHULUAN

I.1 Latar Belakang

Dunia saat ini dihadapkan dengan persoalan besar berupa krisis energi dan perubahan iklim. Kondisi ini disebabkan oleh ketergantungan manusia terhadap bahan bakar fosil dalam berbagai aktivitas, mulai dari rumah tangga hingga industri dan transportasi, yang mana ketersediaan bahan bakar fosil semakin menipis seiring bertambahnya waktu. Ketergantungan ini menciptakan ancaman terhadap ketahanan energi, tetapi juga mempercepat pemanasan global melalui peningkatan emisi gas rumah kaca (Makcharoen dkk., 2021). Sektor transportasi udara merupakan salah satu kontributor signifikan menyumbang 950 juta ton karbon dioksida secara global pada tahun 2023 berdasarkan data statistik *International Energy Agency* (IEA) (Belcher dkk., 2025). Pada 2050 diprediksi bahwa terjadi kenaikan sebesar enam kali lipat konsumsi bahan bakar avtur dan emisi gas CO_2 (Redda dkk., 2024). Peningkatan ini akan menimbulkan tekanan besar terhadap ketahanan energi global, terutama karena sumber bahan bakar fosil terus berkurang dan belum terdapat alternatif terbarukan yang mampu menggantikannya secara penuh. Kondisi ini menegaskan urgensi pengembangan bahan bakar penerbangan berkelanjutan yang tidak hanya rendah emisi, tetapi juga dapat diproduksi dari sumber daya terbarukan melalui pendekatan *green chemistry*.

Bioavtur merupakan bahan bakar penerbangan berkelanjutan untuk solusi mengurangi emisi gas rumah kaca yang berasal dari limbah biomassa berupa minyak nabati. Beberapa contoh minyak nabati yang berhasil dikonversi menjadi bioavtur antara lain minyak sawi (Redda dkk., 2024), minyak kelapa (Ong dkk., 2021) minyak jarak (Hassan dkk., 2023), minyak kedelai (Główka dkk., 2024), minyak inti sawit (Itthibenchapong dkk., 2017), dan minyak nyamplung (Visiamah dkk., 2024). Produksi bioavtur dari minyak nabati dilakukan melalui proses *hydrotreatment* pada tekanan dan temperatur yang tinggi (Choi dkk., 2018; Moonsrikaew dkk., 2023; Why dkk., 2022). Pada proses *hydrotreatment* terdapat tiga jalur reaksi utama yaitu hidrogenolisis, hidrodeoksigenasi, dan hidrorengkah, serta dua jalur reaksi tambahan yaitu hidroisomerisasi dan hidroaromatisasi (Žula

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
**Sintesis Katalis Silika Gel Berpori Meso dari Abu Daun Salak Terimpregnasi Logam Molibdenum Untuk
Produksi Bioavtur dari Minyak Dedak Padi Berbantuan Gelombang Mikro**
Dhimas Bagus Kurniawan, Prof. Dr.rer.nat. Karna Wijaya, M.Eng.;Akhmad Syoufian, S.Si., Ph.D.
Universitas Gadjah Mada, 2025 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

dkk., 2022). Semua jalur reaksi tersebut saling berperan untuk menentukan distribusi produk akhir sehingga pemilihan bahan baku umpan dan katalis menjadi penting dalam menentukan reaksi apa yang terjadi pada proses *hydrotreatment*.

Minyak non-pangan merupakan minyak nabati yang dapat dipilih sebagai umpan karena tidak menimbulkan kompetisi dengan kebutuhan konsumsi manusia serta umumnya berasal dari limbah biomassa yang melimpah. Salah satu minyak non-pangan yang belum banyak dieksplorasi adalah minyak dedak padi atau *rice bran oil* (RBO). Minyak ini dipilih karena memiliki kandungan asam lemak bebas atau *free fatty acid* (FFA) yang tinggi dengan komposisi didominasi oleh asam oleat ($C_{18:1}$) sebesar 43,4%, asam linoleat ($C_{18:2}$) sekitar 37,9%, serta asam palmitat ($C_{16:0}$) sebesar 18,7% (Akhter dkk., 2016; Einloft dkk., 2008; Mai dkk., 2023). Komposisi asam lemak tersebut berpotensi untuk dilakukan reaksi hidrodeoksigenasi, hidrogenasi, dan hidrorengkah, serta hidroisomerisasi dalam proses *hydrotreament* untuk menghasilkan produk hidrokarbon fraksi avtur (C_8−C_{16}). Konversi minyak dedak padi menjadi bioavtur dalam proses *hydrotreatment* dapat dioptimalisasi melalui pemilihan katalis yang sesuai, agar reaksi berjalan lebih efisien dan menghasilkan produk bioavtur dengan rendemen tinggi.

Katalis memegang peranan penting dalam mengefisiensikan proses *hydrotreatment* minyak nabati. Salah satu material katalis yang umum digunakan adalah silika (SiO_2) karena memiliki stabilitas termal tinggi (Lakhani dkk., 2024), luas permukaan yang besar (Rizzi dkk., 2021), dan kemudahan modifikasi struktur pori sesuai dengan kebutuhan (Lakhani dkk., 2024; Shafiee dkk., 2021). Silika umumnya disintesis menggunakan prekursor sintetis seperti tetraetil ortosilikat (TEOS) (Z. Lei dkk., 2011; Martín dkk., 2024). Hal tersebut menunjukkan bahwa adanya ketergantungan pada bahan kimia sintetis dalam mensintesis material silika. Kondisi ini bertolak belakang dengan prinsip *green chemistry* yang menekankan pada poin *use a renewable feedstock* sehingga diperlukan upaya eksplorasi prekursor alternatif yang lebih ramah lingkungan. Salah satu limbah biomassa yang belum banyak dieksplorasi dan berpotensi sebagai sumber alternatif silika adalah daun salak. Penelitian terdahulu yang dilakukan oleh Fatimah dkk. (2022) berhasil

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
**Sintesis Katalis Silika Gel Berpori Meso dari Abu Daun Salak Terimpregnasi Logam Molibdenum Untuk
Produksi Bioavtur dari Minyak Dedak Padi Berbantuan Gelombang Mikro**
Dhimas Bagus Kurniawan, Prof. Dr.rer.nat. Karna Wijaya, M.Eng.;Akhmad Syoufian, S.Si., Ph.D.
Universitas Gadjah Mada, 2025 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

mensintesis silika dengan prekursor abu daun salak sebagai katalis dalam produksi biodiesel. Lebih lanjut, peforma katalitik silika dapat ditingkatkan dengan modifikasi struktur pori. Silika dengan ukuran mesopori lebih disukai karena memudahkan molekul umpan untuk berdifusi menuju situs aktif katalis (Gage dkk., 2018). Upaya pembentukan silika mesopori (MS) dapat melalui penambahan agen pencetak seperti setiltrimetilamonium bromida (CTAB) (Han dkk., 2024; Poyraz dan Dag, 2009). CTAB beperan sebagai agen pengarah struktur pori silika menjadi berukuran meso dan meningkatkan total keasaman permukaan silika sehingga mampu meningkatkan rendemen bioavtur pada proses *hydrotreatment* (Wulandari dkk., 2021).

Optimalisasi peforma katalis dalam proses *hydrotreatment* tidak hanya ditentukan oleh keteraturan dan luas permukaan pori yang diperoleh melalui agen pencetak saja, tetapi juga dipengaruhi oleh keberadaan logam aktif yang terdispersi pada permukaan katalis. Pada penelitian ini logam molibdenum dipilih sebagai logam yang didispersikan pada silika mesopori karena memiliki aktivitas katalitik yang sangat baik dalam memfasilitasi reaksi hidrodeoksigenasi, hidrogenasi dan hidrorengkah ringan (Alisha dkk., 2023; Navajas dkk., 2020; Saviola dkk., 2025). Pemilihan jalur reaksi tersebut disesuaikan dengan kandungan asam lemak bebas dominan pada minyak dedak padi berupa asam oleat ($C_{18:1}$), asam linoleat ($C_{18:2}$), dan asam palmitat ($C_{16:0}$), yang mana ketiga FFA tersebut membutuhkan katalis yang mampu menghilangkan oksigen, menghidrogenasi ikatan rangkap, dan memutus rantai karbon panjang, menjadi rantai karbon menengah (C_8-C_{16}) sehingga diharapkan dapat menghasilkan rendemen bioavtur yang tinggi. Meskipun hasil komparasi aktivitas Mo/SiO_2 dengan Pd/SiO_2 yang dilakukan oleh Ballesteros dkk. (2017) diperoleh bahwa aktivitas hidrodeoksigenasi logam paladium (Pd) lebih tinggi daripada molibdenum (Mo), namun keasamaan katalis Pd/SiO_2 jauh lebih rendah dibandingkan katalis Mo/SiO_2 sehingga kurang efektif dalam memfasilitasi reaksi hidrorengkah ringan dan hidroisomerisasi. Hal ini menjadikan Mo lebih sesuai sebagai logam aktif untuk mengonversi FFA dalam minyak dedak padi menjadi fraksi bioavtur. Lebih lanjut, pemilihan katalis Mo/MS sebagai katalis monometal pada penelitian ini didasarkan pada hasil penelitian yang dilakukan oleh

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
**Sintesis Katalis Silika Gel Berpori Meso dari Abu Daun Salak Terimpregnasi Logam Molibdenum Untuk
Produksi Bioavtur dari Minyak Dedak Padi Berbantuan Gelombang Mikro**
Dhimas Bagus Kurniawan, Prof. Dr.rer.nat. Karna Wijaya, M.Eng.;Akhmad Syoufian, S.Si., Ph.D.
Universitas Gadjah Mada, 2025 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Amakawa dkk. (2019) yang menunjukkan bahwa penggunaan SiO_2 sebagai pengemban logam Mo dalam proses *hydrotreatment* dapat meningkatkan nilai keasaman secara signifikan. Temuan tersebut diperkuat oleh penelitian Lei dkk. (2012) bahwa permukaan dari MoO_3 memiliki kemampuan untuk mengadsorpsi hidrogen selama hidrorengkah sehingga mempercepat hidrogenasi. Berdasarkan kedua temuan tersebut, Mo/MS diharapkan memiliki aktivitas katalitik yang tinggi sehingga tidak memerlukan penambahan logam promotor lain. Selanjutnya pada penelitian ini digunakan metode semprot (*spray impregnation*) untuk meminimalkan penggunaan pelarut dibandingkan metode perendaman (*wet impregnation*). Pemilihan metode tersebut, juga didasari pada hasil Triyono dkk. (2024) dan Saviola dkk. (2025) yang menunjukkan bahwa metode impregnasi semprot berhasil menghasilkan distribusi logam yang lebih merata dibandingkan dengan metode impregnasi basah, sehingga diharapkan aktivitas katalitik katalis menjadi lebih efisien.

Proses *hydrotreatment* untuk memproduksi bioavtur dari minyak nabati menggunakan katalis umumnya dilakukan dengan kondisi temperatur dan tekanan yang tinggi. Beberapa penelitian terdahulu yang mengonversi minyak nabati menjadi bioavtur dengan temperatur dan tekanan tinggi, antara lain Makcharoen dkk. (2021) yang melaporkan hidrokonversi minyak biji kelapa sawit menggunakan katalis Pt/C pada temperatur 420 ℃, tekanan 500 psi, dan laju alir gas H_2 17,59 mL/menit dengan rendemen bioavtur sebesar 58,29% (b/b). Penelitian lain oleh Główka dkk. (2024) melaporkan bahwa hidrokonversi minyak kedelai menggunakan katalis Pt/Al_2O_3–SAPO–11 pada tekanan 2-10 MPa, temperatur 320 ℃, dan laju alir gas H_2 120 L/jam menghasilkan rendemen bioavtur 87,5% (b/b). Berdasarkan beberapa penelitian tersebut, meskipun diperoleh rendemen bioavtur yang tinggi, penggunaan tekanan dan temperatur tinggi dalam proses *hydrotreatment* mengakibatkan diperlukan energi yang cukup besar sehingga kurang efisien. Oleh karena itu penelitian ini menggunakan tekanan atmosferik yang bertujuan untuk mengurangi konsumsi energi dan lebih hemat biaya operasional, serta meminimalkan resiko kecelakaan kerja. Penerapan kondisi ini juga telah diterapkan oleh Yulianto dkk. (2024) yang mana dalam kondisi

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
**Sintesis Katalis Silika Gel Berpori Meso dari Abu Daun Salak Terimpregnasi Logam Molibdenum Untuk
Produksi Bioavtur dari Minyak Dedak Padi Berbantuan Gelombang Mikro**
Dhimas Bagus Kurniawan, Prof. Dr.rer.nat. Karna Wijaya, M.Eng.;Akhmad Syoufian, S.Si., Ph.D.
Universitas Gadjah Mada, 2025 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

atmosferik dengan menggunakan reaktor *semi-batch* berhasil mengonversi minyak nabati menjadi bioavtur terkalisis pada sistem bilayer Ni/AC dan Mo/AC dengan laju alir gas H_2 20 mL/menit diperoleh rendemen bioavtur fraksi 1 86,93% (b/b) dan fraksi 2 87,48% (b/b). Meskipun rendemen bioavtur yang diperoleh tinggi, komposisi bioavtur tersebut didominasi olefin. Tingginya kandungan tersebut mengakibatkan kualitas bioavtur menjadi kurang ideal sebagai bahan bakar penerbangan karena titik beku bioavtur menjadi rendah. Oleh karena itu, sebagai upaya peningkatan kualitas produk bioavtur yang dihasilkan dari konversi minyak nabati pada proses *hydrotreatment*, penelitian ini menggunakan inovasi reaktor dengan sistem pemanasan berbantuan gelombang mikro (*microwave*). Pemilihan sistem pemanasan ini bertujuan agar pemanasan umpan menjadi lebih cepat dan merata ke seluruh volume sehingga proses difusi molekul umpan menuju permukaan katalis menjadi lebih cepat dan reaksi pada proses *hydrotreatment* dapat berlangsung lebih efisien (Ong dkk., 2021). Pemanasan volumetrik dari gelombang mikro membuat energi panas diserap langsung oleh minyak dan katalis sehingga dapat meningkatkan laju pembentukan hidrokarbon rantai menengah (C_8-C_{16}). Pemilihan sistem pemanasan ini juga didukung dari hasil penelitian oleh Ravindran dkk. (2022) bahwa berhasil mengonversi minyak inti kelapa sawit menjadi bioavtur dalam temperatur 250 ℃ dan tekanan atmosferik terkatalisis $FeMo/AC_B$ dengan rendemen bioavtur sebesar >95% (b/b).

Berpijak dari uraian permasalahan yang telah dijabarkan di atas, penelitian ini memiliki urgensi tinggi karena mampu menawarkan pendekatan produksi bioavtur yang lebih berkelanjutan, hemat energi, dan ekonomis melalui pemanfaatan biomassa lokal berupa daun salak sebagai sumber silika, serta penerapan pemanasan berbantuan gelombang mikro pada kondisi tekanan atmosferik, sehingga berpotensi menghasilkan bioavtur dengan rendemen yang tinggi dan kualitas yang baik tanpa membutuhkan energi besar seperti pada sistem konvensional.

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
**Sintesis Katalis Silika Gel Berpori Meso dari Abu Daun Salak Terimpregnasi Logam Molibdenum Untuk
Produksi Bioavtur dari Minyak Dedak Padi Berbantuan Gelombang Mikro**
Dhimas Bagus Kurniawan, Prof. Dr.rer.nat. Karna Wijaya, M.Eng.;Akhmad Syoufian, S.Si., Ph.D.
Universitas Gadjah Mada, 2025 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

I.2 Tujuan Penelitian

Berdasarkan latar belakang permasalahan yang telah diuraikan, penelitian ini memiliki tujuan sebagai berikut:

1. Melakukan sintesis katalis silika gel mesopori dari abu daun salak tercetak CTAB.
2. Mempelajari pengaruh penambahan logam molibdenum pada katalis silika mesopori dengan berbagai konsentrasi melalui metode semprot terhadap peforma katalitiknya untuk proses *hydrotreatment* minyak dedak padi berbantuan gelombang mikro menjadi bioavtur.
3. Mengkaji kondisi optimal proses hidrokonversi minyak dedak padi berbantuan gelombang mikro menjadi bioavtur terkatalisis katalis molibdenum terimpregnasi pada silika mesopori dengan berbagai variasi: komposisi umpan dengan katalis, daya reaktor berbantuan gelombang mikro, dan waktu kontak untuk memperoleh rendemen bioavtur tertinggi.
4. Mempelajari pengaruh penggunaan berulang dan regenerasi katalis molibdenum terimpregnasi silika mesopori terhadap rendemen bioavtur yang dihasilkan.

I.3 Manfaat Penelitian

Penelitian yang dilakukan memiliki manfaat untuk memberikan informasi ilmiah mengenai proses sintesis dan karakterisasi katalis silika gel mesopori terimpregnasi molibdenum dari bahan alam Indonesia yang digunakan untuk proses produksi bioavtur dengan teknologi berbantuan gelombang mikro dan umpan *non-edible* berupa minyak dedak padi. Selain itu, penelitian ini dapat memberikan wawasan mengenai potensi limbah biomassa Indonesia yang dapat diolah *green catalyst* dengan nilai jual tinggi, yang mana sejalan dengan *Sustainable Development Goals* (SDGs) 2030 dan visi Pemerintah Indonesia untuk mewujudkkan kemandirian energi 2045.

Sintesis Katalis Silika Gel Berpori Meso dari Abu Daun Salak Terimpregnasi Logam Molibdenum Untuk
Produksi Bioavtur dari Minyak Dedak Padi Berbantuan Gelombang Mikro
Dhimas Bagus Kurniawan, Prof. Dr.rer.nat. Karna Wijaya, M.Eng.;Akhmad Syoufian, S.Si., Ph.D.
Universitas Gadjah Mada, 2025 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

BAB II
TINJAUAN PUSTAKA DAN PERUMUSAN HIPOTESIS

II.1 Tinjauan Pustaka

II.1.1 Minyak dedak padi sebagai umpan produksi bioavtur

Indonesia merupakan negara agraris yang menghasilkan berbagai macam limbah pertanian yang belum dimanfaatkan secara optimal. Dedak padi, yang merupakan produk samping dari proses penggilingan gabah menjadi padi, Selama ini dedak padi lebih banyak dimanfaatkan sebagai pakan ternak, meskipun kandungan minyaknya tergolong tinggi, berikisar 12-18% (b/b) dalam 100 gram dedak padi (Bhatnagar dkk., 2014). Kandungan minyak yang relatif besar ini menunjukkan bahwa dedak padi memiliki potensi untuk dimanfaatkan sebagai sumber minyak nabati, terutama sebagai bahan baku konversi menjadi bioavtur melalui hidrokonversi. Kandungan yang terdapat pada minyak dedak padi atau *rice brain oil* (RBO) didominasi oleh asam rantai panjang yang ditabulasi pada Tabel II.1.

Tabel II.1 Komposisi asam lemak pada minyak dedak padi (Einloft dkk., 2008)

Asam lemak	Rumus kimia	Komposisi % (b/b)
Asam oleat	$C_{18}H_{34}O_2$	43,4
Asam linoeat	$C_{18}H_{32}O_2$	37,9
Asam palmitat	$C_{16}H_{32}O_2$	18,7

Berdasarkan kandungan asam lemak yang dimiliki oleh minyak dedak padi menjadikannya sebagai prekursor ideal dalam produksi hidrokarbon fraksi avtur (C_8-C_{16}) melalui proses *hydrotreatment*. Pada proses ini, konversi asam lemak menjadi bioavtur dilakukan dengan tiga jalur reaksi utama yaitu hidrogenolisis, hidrodeoksigenasi, dan hidrorengkah, serta dua jalur reaksi tambahan yaitu hidroisomerisasi, dan hidroaromatisasi (Žula dkk., 2022). Kelima jalur reaksi tersebut saling berperan untuk menentukan distribusi produk akhir. Bioavtur yang dihasilkan dari proses konversi minyak nabati diharapkan memiliki kesesuaian dengan sifat dan karakteristik dari avtur komersial. Adapun penelitian yang

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
**Sintesis Katalis Silika Gel Berpori Meso dari Abu Daun Salak Terimpregnasi Logam Molibdenum Untuk
Produksi Bioavtur dari Minyak Dedak Padi Berbantuan Gelombang Mikro**
Dhimas Bagus Kurniawan, Prof. Dr.rer.nat. Karna Wijaya, M.Eng.;Akhmad Syoufian, S.Si., Ph.D.
Universitas Gadjah Mada, 2025 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

dilakukan oleh Benavides dkk. (2021) melaporkan bahwa kandungan hidrokarbon pada avtur komersial yang dianalisis GC–MS ditabulasi pada Tabel II.2.

Tabel II.2 Komposisi senyawa hidrokarbon pada avtur komersial

Senyawa parafin	
n-oktana	n-dodekana
n-nonana	n-tridekana
n-dekana	n-tetradekana
n-undekana	n-pentadekana
Senyawa isoparafin	
3-metil-heptana	2-metil-nonana
2,6-dimetil-heptana	2-metil-dekana
2,3-dimetil-heptana	3-metil-dekana
2-metil-oktana	2-metil-undekana
3,6-dimetil-oktana	3-metil-undekana
Senyawa naftena	
etil-sikloheksana	oktil-sikloheksana
propil-sikloheksana	1,1,3-trimetil-sikloheksana
butil-sikloheksana	1,3,5-trimetil-sikloheksana
pentil-sikloheksana	1-etil-4-metil-sikloheksana
heksil-sikloheksana	
Senyawa aromatik dan naftalena	
1,2,4-trimetil-benzena	p-xilena
1,2,3-trimetil-benzena	trans-dekahidronaftalena
1-etil-2-metil-benzena	dekahidro-2-metil-naftalena
1-metil-3-propil-benzena	2-metil-naftalena
1,2,4-trimetil-benzena	1-metil-naftalena
o-xilena	trans-dekahidronaftalena

Avtur komersial dari bahan fosil pada umumnya terdiri dari 20% parafin, 40% iso-parafin, 20% naftena, dan 20% senyawa aromatik. Berdasarkan komposisi hidrokarbon yang dimiliki oleh avtur didominasi oleh senyawa parafin dan iso-parafin. Lebih lanjut, sifat-sifat fisik avtur komersial yang dilaporkan oleh Pérez dan Ruiz (2020) bahwa avtur sebagai bahan bakar pesawat harus memenuhi beberapa syarat utama seperti memiliki titik nyala yang tinggi untuk menekan potensi kebakaran, titik beku yang rendah agar tetap mampu mengalir pada suhu yang sangat dingin di ketinggian, serta densitas yang cukup besar dalam mengoptimalkan kapasitas penyimpanan di dalam tangki pesawat. Rincian lebih lanjut mengenai sifat-sifat fisik dirangkum pada Tabel II.3.

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
**Sintesis Katalis Silika Gel Berpori Meso dari Abu Daun Salak Terimpregnasi Logam Molibdenum Untuk
Produksi Bioavtur dari Minyak Dedak Padi Berbantuan Gelombang Mikro**
Dhimas Bagus Kurniawan, Prof. Dr.rer.nat. Karna Wijaya, M.Eng.;Akhmad Syoufian, S.Si., Ph.D.
Universitas Gadjah Mada, 2025 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

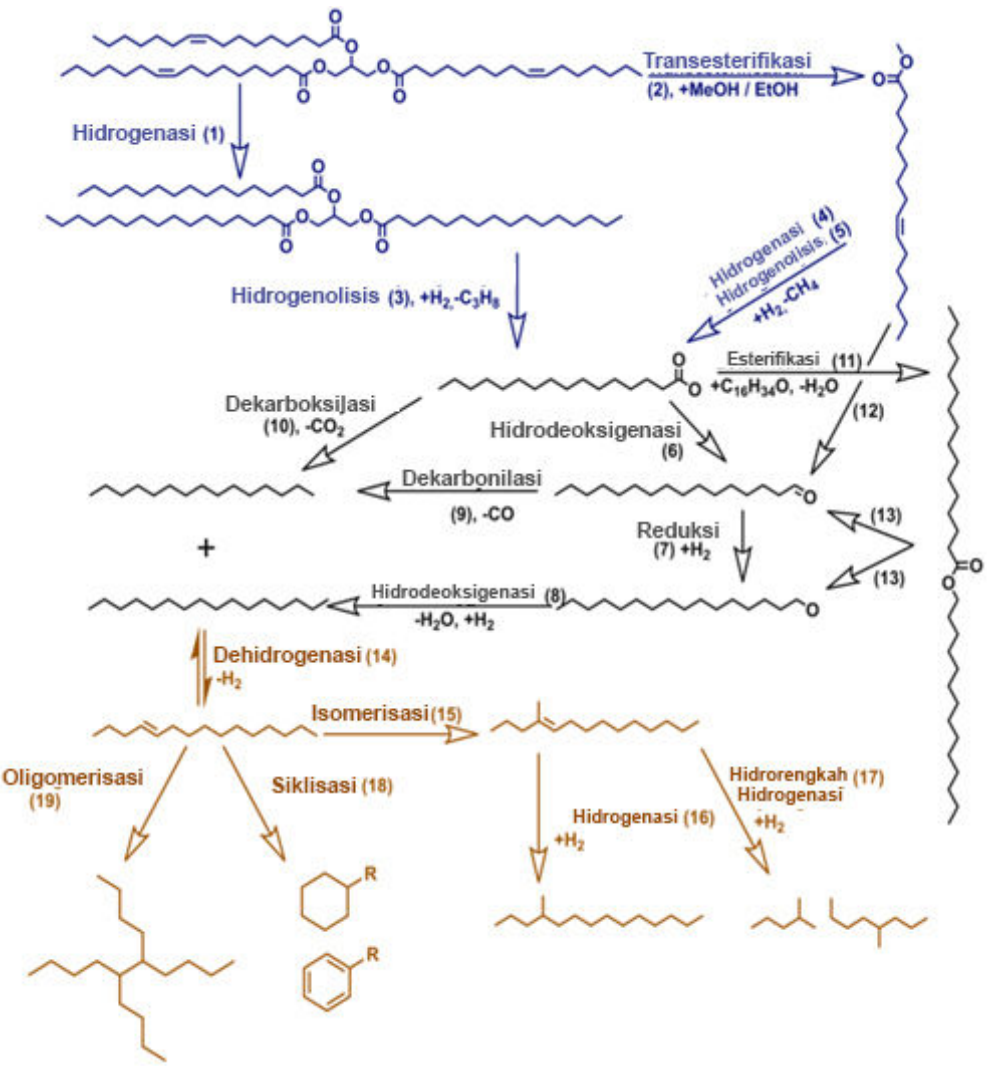
Tabel II.3 Sifat-sifat fisik avtur komersial

Sifat fisik	Avtur komersial
Titik didih (℃)	170-300
Titik beku (℃)	-40
Titik nyala (℃)	38
Densitas pada 15 ℃ (kg/m^3)	775-840
Viskositas pada -20 ℃ (mm^2/s)	8,0
Nilai kalor (MJ/kg)	43,28

Kemampuan avtur komersial untuk memiliki titik beku yang rendah disebabkan karena kandungan iso-parafin. Senyawa iso-parafin memiliki struktur yang bercabang sehingga dapat menggangu interaksi antar molekul komponen senyawa hidrokarbon saat suhu diturunkan. Akibatnya produk cair tidak mudah membeku pada suhu yang rendah. Kesesuaian ini selaras dengan mobilitas pesawat yang dijalankan pada ketinggian yang tinggi pada permukaan tanah.

Berpijak dari penjelasan komponen senyawa hidrokarbon dan sifat-sifat fisik yang perlu dimiliki avtur komersial, proses konversi minyak dedak padi melalui hidrokonversi diarahkan untuk menghasilkan produk cair yang memiliki kesesuaian dengan standar tesebut. Asam palmitat dapat langsung dilakukan hidrodeoksigenasi untuk menjadi rantai C_{16} atau dilakukan hidrorengkah ringan agar diperoleh hihdrokarbon dengan rentang C_8-C_{15}. Asam oleat dan linoeat, yang memiliki ikatan rangkap, terlebih dahulu mengalami hidrogenasi, yang selanjutnya bereaksi hidrodeoksigenasi. Hidrokarbon C_{18} yang diperoleh kemudian dilakukan reaksi hidrorengkah untuk memerpoleh hidrokarbon fraksi parafin rantai menengah (C_8-C_{16}). Selanjutnya juga dimungkinkan produk hidrokarbon dari ketiga asam lemak tersebut mengalami reaksi hidroisomerisasi untuk menghasilkan produk iso-parafin yang dapat meningkatkan kualitas bahan bakar, khususnya pada titik beku yang rndah. Adapun skema proses *hydrotreament* disajikan pada Gambar II.1.

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
**Sintesis Katalis Silika Gel Berpori Meso dari Abu Daun Salak Terimpregnasi Logam Molibdenum Untuk
Produksi Bioavtur dari Minyak Dedak Padi Berbantuan Gelombang Mikro**
Dhimas Bagus Kurniawan, Prof. Dr.rer.nat. Karna Wijaya, M.Eng.;Akhmad Syoufian, S.Si., Ph.D.
Universitas Gadjah Mada, 2025 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/



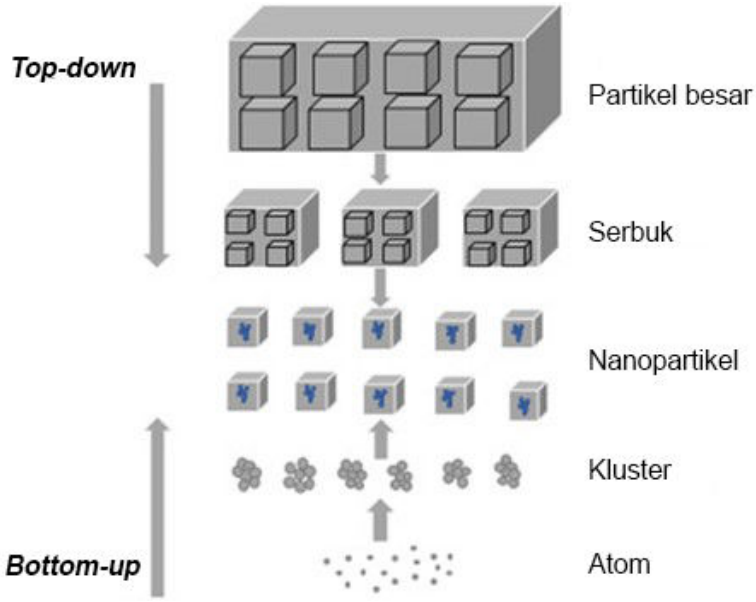
Gambar II.1 Skema jalur reaksi pada *proses hydrotreament* minyak nabati (Žula dkk., 2022)

II.1.2 Silika gel mesopori tercetak CTAB dari abu daun salak sebagai pengemban katalis

Silika (SiO_2) merupakan material oksida yang memiliki beberapa bentuk polimorf, berupa fasa kuarsa (heksagonal), kritobalit (tetrahedral), dan amorf. Silika dapat disintesis dari berbagai sumber, baik berasal dari alam maupun sintetis (Fauziyah dkk., 2019). Prekursor silika dari alam dapat berupa abu sekam padi (Chen dkk., 2013) dan abu ampas tebu (Sungsinchai dkk., 2023), sedangkan prekursor berbasis sintetis umumnya berupa natrium silikat (Na_2SiO_3), tetraetilortosilikat (TEOS), dan tetrametilortosilikat (TMOS) (Zhang dkk., 2025). Namun, untuk mendukung penerapan prinsip *green chemistry*, pemilihan prekursor

Sintesis Katalis Silika Gel Berpori Meso dari Abu Daun Salak Terimpregnasi Logam Molibdenum Untuk
Produksi Bioavtur dari Minyak Dedak Padi Berbantuan Gelombang Mikro
Dhimas Bagus Kurniawan, Prof. Dr.rer.nat. Karna Wijaya, M.Eng.;Akhmad Syoufian, S.Si., Ph.D.
Universitas Gadjah Mada, 2025 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

silika diarahkan terhadap pemanfaatan limbah biomassa karena sesuai dengan poin *renewable feedstock*. Salah satu limbah biomassa yang belum banyak diekplorasi untuk menjadi prekursor silika adalah daun salak. Pemilihan prekursor ini dilandasi dari keberhasilan penelitian yang dilakukan oleh Fatimah dkk. (2022) untuk mensintesis silika dari abu daun salak melalui metode *top down* sebagai pengemban katalis produksi biodiesel.

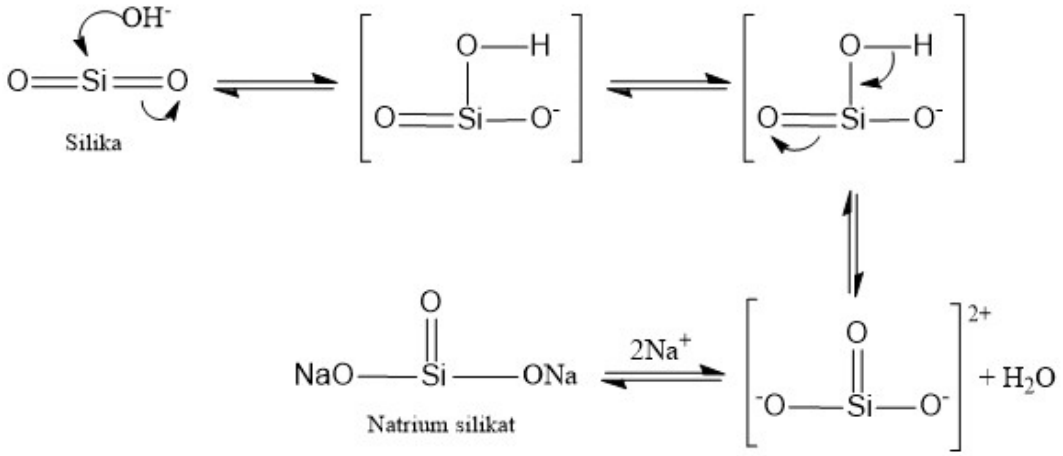


Gambar II.2 Skema metode sintesis silika (Abid dkk., 2022)

Sintesis silika dari daun salak dilakukan dengan metode *top-down*, yaitu pendekatan penguraian partikel berukuran besar (*bulk material*) menjadi partikel berukuran nanometer (Fard & Ebrahimi, 2025). Adapun skema metode *top-down* disajikan pada Gambar II.2. Daun salak terlebih dahulu dilakukan proses pengabuan pada suhu tinggi untuk menguraikan komponen organik sehingga diperoleh abu daun salak yang memiliki kandungan silika tinggi. Selanjutnya silika diekstraksi dari abu daun salak menggunakan teknik sol-gel. Teknik tersebut merupakan metode pembentukan senyawa anorganik melalui reaksi kimia dalam larutan pada suhu rendah, yang terdiri dari beberapa tahap antara lain hidrolisis, kondensasi, penuaan (*aging*), dan pengeringan (Fusinato dkk., 2023). Pada tahap hidrolisis akan membentuk natrium silikat dari kandungan silika dalam abu daun salak bereaksi dengan larutan alkali. Atom oksigen dalam SiO_2 memiliki elektronegativitas yang tinggi sehingga mengakibatkan silikon menjadi lebih

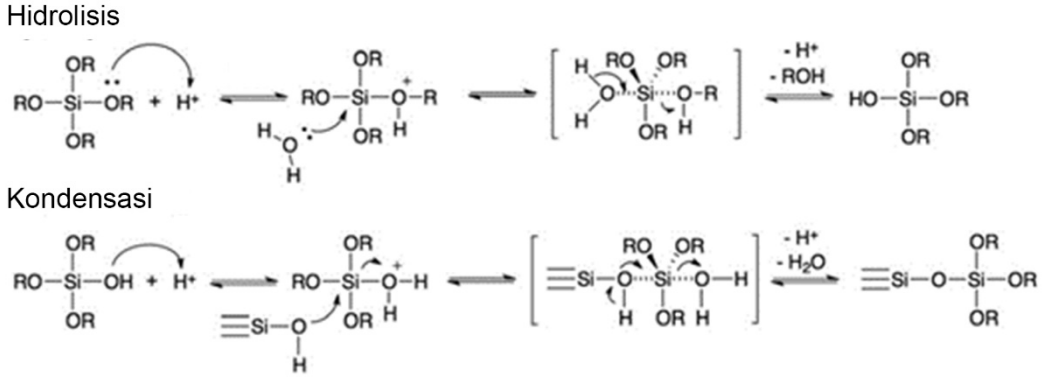
UNIVERSITAS
GADJAH MADA
**Sintesis Katalis Silika Gel Berpori Meso dari Abu Daun Salak Terimpregnasi Logam Molibdenum Untuk
Produksi Bioavtur dari Minyak Dedak Padi Berbantuan Gelombang Mikro**
Dhimas Bagus Kurniawan, Prof. Dr.rer.nat. Karna Wijaya, M.Eng.;Akhmad Syoufian, S.Si., Ph.D.
Universitas Gadjah Mada, 2025 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

elektropositif, Oleh karena itu, terbentuk spesi intermediet SiO_2OH^- yang tidak stabil. Selanjutnya, terjadi proses dehidrogenasi yang menghasilkan molekul air, sementara ion natrium (Na^+) berinteraksi dengan ion silikat (SiO_3^{2-}) untuk membentuk natrium silikat. Reaksi pembentukan natrium silikat dari abu daun salak digambarkan pada Gambar II.3.



Gambar II.3 Mekanisme reaksi pembentukan natrium silikat

Larutan natrium silikat yang diperoleh kemudian ditambahkan dengan larutan HCl 0,5 M pada temperatur 80 ℃ secara perlahan hingga terbentuk *gel* silika, yang dilanjutkan dengan penyucian menggunakan *deionized water* hingga memperoleh pH 7 sehingga diperoleh silika gel murni (Fard dan Ebrahimi, 2025). Mekanisme reaksi yang terjadi digambarkan pada Gambar II.4.

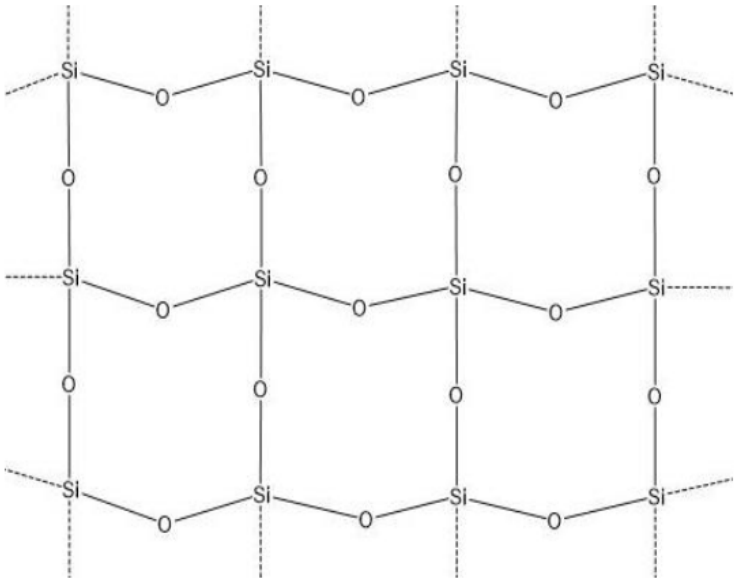


Gambar II.4 Mekanisme reaksi hidrolisis dan kondensasi untuk sol-gel silika (Lofgreen dan Ozin, 2014)

Silika yang terbentuk dari teknik sol-gel disajikan pada Gambar II.5. Material silika memiliki beberapa keunggulan diantaranya stabilitas termal tinggi,

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
**Sintesis Katalis Silika Gel Berpori Meso dari Abu Daun Salak Terimpregnasi Logam Molibdenum Untuk
Produksi Bioavtur dari Minyak Dedak Padi Berbantuan Gelombang Mikro**
Dhimas Bagus Kurniawan, Prof. Dr.rer.nat. Karna Wijaya, M.Eng.;Akhmad Syoufian, S.Si., Ph.D.
Universitas Gadjah Mada, 2025 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

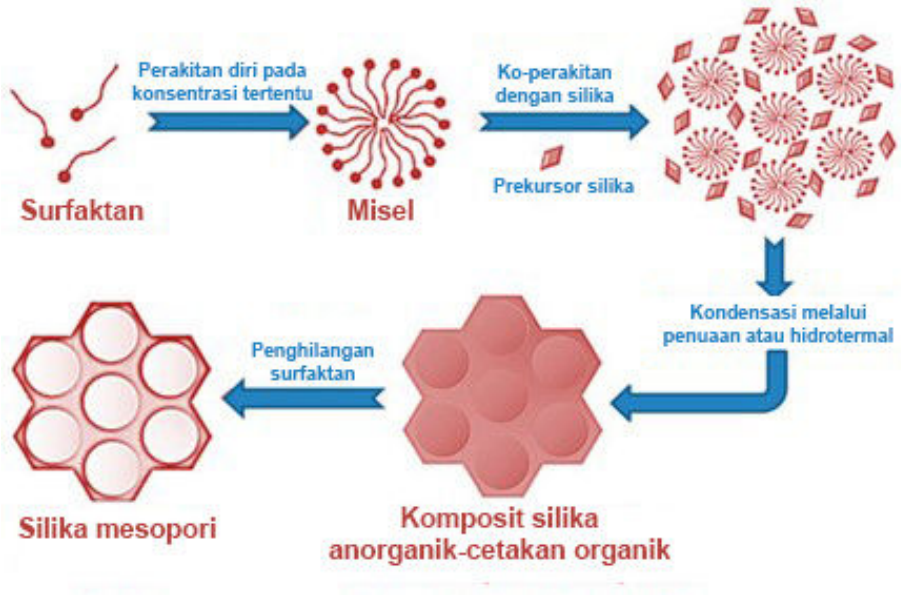
luas permukaan yang besar dan struktur pori yang dapat modifikasi sesuai dengan kebutuhan (Lakhani dkk., 2024). Berdasarkan keunggulan dari material silika sehingga dapat dimanfaatkan sebagai absorben (Nayab dkk., 2014; Wang dkk., 2018), dan pengemban katalis (Fatimah dkk., 2022; Wulandari dkk., 2021). Berkaitan dengan pemanfaatannya sebagai pengemban katalis, peforma katalitik silika dapat ditingkatkan dengan modifikasi struktur pori.



Gambar II.5 Struktur silika

Silika dengan ukuran mesopori lebih disukai karena memudahkan molekul umpan untuk berdifusi menuju situs aktif katalis (Gage dkk., 2018). Upaya pembentukan silika mesopori (MS) dapat melalui penambahan agen pencetak seperti setiltrimetilamonium bromida (CTAB) (Han dkk., 2024; Poyraz dan Dag, 2009). Pemilihan CTAB sebagai agen pencetak didasari karena surfaktan ini efektif dalam memodifikasi struktur silika menjadi berukuran mesopori dengan luas permukaan tinggi dan pori-pori yang terstruktur (Majchrzak dan Nowak, 2011; Rumiyanti dkk., 2025; Vazquez dkk., 2017). Visualisasi pembentukan silika mesopori disajikan pada Gambar II.6. Silika mesopori yang terbentuk dapat meningkatkan total keasaman permukaan silika sehingga mampu meningkatkan rendemen bioavtur pada proses *hydrotreatment* (Wulandari dkk., 2021).

Sintesis Katalis Silika Gel Berpori Meso dari Abu Daun Salak Terimpregnasi Logam Molibdenum Untuk
Produksi Bioavtur dari Minyak Dedak Padi Berbantuan Gelombang Mikro
Dhimas Bagus Kurniawan, Prof. Dr.rer.nat. Karna Wijaya, M.Eng.;Akhmad Syoufian, S.Si., Ph.D.
Universitas Gadjah Mada, 2025 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/



Gambar II.6 Skema pembentukan silika gel mesopori dengan penambahan surfaktan CTAB (Pal dkk., 2020)

II.1.3 Impregnasi logam molibdenum pada pengemban silika mesopori dengan metode semprot

Molibdenum (Mo) merupakan salah satu logam transisi yang berpotensi sebagai katalis dalam produksi bioavtur. Logam ini tersedia cukup melimpah di alam dan banyak ditemukan dalam mineral seperti wulfenit ($PbMoO_4$), powellit ($CaMoO_4$), dan molibdenit (MoS_2) sehingga menyebabkan harganya relatif murah daripada logam-logam mulia. Peforma katalitik Mo dalam proses hidrokonversi minyak nabati diketahui sangat baik. Pernyataan tersebut didasarkan dari hasil penelitian yang dilakukan oleh Alisha dkk. (2023) bahwa dengan menggunakan katalis $Mo(C)/SiO_2$ menghasilkan rendemen biofuel sebesar 75,78% (b/b). Penelitian lain dilaporkan oleh Trisunaryanti dkk. (2024) bahwa memperoleh rendemen bioavtur 78,93% (b/b) dari hidrokonversi minyak sawit dengan menggunakan katalis Mo/ZSM-5.

Sifat katalitik Mo yang cukup baik dalam reaksi hidrodeoksigenasi dijelaskan dari keadaan elektroniknya, yang mana diketahui Mo memiliki orbital 4*d* yang terisi sebagian, konfigurasi elektronik ini memungkinkan molibdenum menjadi akseptor pasangan elektron bebas dari atom oksigen pada molekul reaktan sehingga dapat memutuskan ikatan C−O (Scanlon dkk., 2010). Selain itu,

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
**Sintesis Katalis Silika Gel Berpori Meso dari Abu Daun Salak Terimpregnasi Logam Molibdenum Untuk
Produksi Bioavtur dari Minyak Dedak Padi Berbantuan Gelombang Mikro**
Dhimas Bagus Kurniawan, Prof. Dr.rer.nat. Karna Wijaya, M.Eng.;Akhmad Syoufian, S.Si., Ph.D.
Universitas Gadjah Mada, 2025 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

SYNTHESIS OF MESOPOROUS SILICA GEL CATALYST FROM SALACCA LEAVES ASH IMPREGNATED WITH MOLYBDENUM METAL FOR BIO-JET FUEL PRODUCTION FROM RICE BRAN OIL ASSITED BY MICROWAVE

Dhimas Bagus Kurniawan
24/548034/PPA/06914

ABSTRACT

The global reliance on fossil fuels has triggered an energy crisis and increased greenhouse gas emissions. The aviation sector contributes significantly to these emissions. Therefore, researchers are developing bio-jet fuel from vegetable oil as a low-emission, renewable fuel. In this study, a molybdenum-impregnated mesoporous silica (Mo/MS) catalyst was successfully synthesized from salacca leaves ash and applied to convert rice bran oil into bio-jet fuel using a microwave reactor. Catalyst characterization was performed using XRF, FTIR, XRD, NH_3−TPD, H_2−TPR, SAA, SEM-EDX mapping, TEM, and XPS. The hydrotreatment process was carried out using an atmospheric microwave reactor with optimization of the catalyst:feed ratio (0.5:100, 1:100, and 2:100), microwave power (400, 600, and 800 W), and reaction contact time (15, 30, and 45 minutes). The liquid product from hydrotreatment was analyzed by GC-MS to determine the bio-jet fuel percentage and yield.

The results showed that a molybdenum metal concentration of 5% (w/w) produced Mo 5/MS with the highest total acidity value (0.0265 mmol/g NH3) compared to other concentrations. The Mo 5/MS catalyst had the lowest specific surface area and total pore volume, and the highest average pore diameter, among other Mo/MS catalysts. In line with these catalyst characteristics, it produced the highest bio-jet fuel yield among the catalysts at 41.19% (w/w). Furthermore, after optimizing the catalyst:feed ratio, microwave power, and reaction contact time, a yield of 63.85% (w/w) was obtained. This catalyst also shows good reusability, and after regeneration, the liquid product and bio-jet fuel yields are better than those obtained after the second use.

Keywords: bio-jet fuel, microwave, molybdenum, rice bran oil, salacca leaves ash