

KAJIAN PEMBUATAN KATALIS BERBASIS BIOCHAR DARI BIOMASSA UNTUK TRANSESTERIFIKASI MINYAK JELANTAH MENJADI BIODIESEL

Riski Amalia¹, Ahmad Tawfiequrrahman Yuliansyah² dan Rochim Bakti Cahyono²

^{1,2}Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada

Jl. Grafika No. 2, Yogyakarta 55281 Telp (0274) 513665

Email: riskiamalia@mail.ugm.ac.id

Abstrak

Katalis berbasis biochar yang dihasilkan dari biomassa telah menjadi subjek penelitian yang semakin berkembang dalam konteks transesterifikasi minyak jelantah menjadi biodiesel. Seiring dengan meningkatnya kebutuhan akan sumber energi yang berkelanjutan, biodiesel dari minyak jelantah menjadi alternatif menarik. Minyak jelantah adalah limbah dari industri makanan yang dapat digunakan sebagai bahan baku untuk produksi biodiesel yang ramah lingkungan. Namun, proses transesterifikasi membutuhkan katalis yang efektif dan berkelanjutan. Dalam konteks produksi biodiesel dari minyak jelantah, sintesis dan aplikasi katalis biochar ditempatkan sebagai elemen integral. katalis berbasis biochar juga memiliki keunggulan dalam hal biaya produksi yang lebih rendah dan ramah lingkungan dibandingkan dengan katalis konvensional. Review ini mengkaji perkembangan terbaru dalam pembuatan katalis berbasis biochar dari biomassa yang efektif dan ramah lingkungan untuk proses transesterifikasi minyak jelantah menjadi biodiesel. Biochar adalah bahan yang dihasilkan dari dekomposisi biomassa melalui pirolisis. Biochar memiliki struktur pori yang besar dan permukaan yang aktif sehingga dapat berperan sebagai katalis dalam reaksi transesterifikasi. Biochar, yang merupakan produk sampingan dari berbagai proses termal, menawarkan potensi yang menarik sebagai katalis alternatif yang berkelanjutan dan ramah lingkungan. Biochar yang digunakan sebagai bahan dasar katalis dihasilkan dari biomassa yang terdiri dari limbah pertanian dan kehutanan. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah dengan memanfaatkan biomassa sebagai bahan baku untuk menghasilkan biochar. Biochar kemudian diaktivasi menggunakan bahan pengaktif tertentu agar memiliki sifat katalitik yang optimal. Proses transesterifikasi minyak jelantah menggunakan katalis biochar ini dilakukan dengan menambahkan alkohol sebagai reagen dalam kondisi tertentu.

Kata kunci: *Biochar; Biomassa; Katalis; Transesterifikasi; Biodiesel*

Pendahuluan

Biodiesel adalah salah satu sumber energi terbarukan yang semakin mendapat perhatian penting dalam upaya mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil dan mengurangi dampak negatif terhadap lingkungan. Salah satu sumber bahan baku yang potensial untuk produksi biodiesel adalah minyak jelantah, yang seringkali dihasilkan dari limbah industri kuliner dan makanan. Namun, untuk mengubah minyak jelantah menjadi biodiesel, diperlukan proses transesterifikasi yang memerlukan katalis untuk meningkatkan efisiensi reaksi. Diera saat ini, penelitian mengenai katalis yang ramah lingkungan dan efisien menjadi semakin penting dengan meningkatnya kebutuhan akan energi yang berkelanjutan dan kesadaran akan masalah lingkungan.

Salah satu perkembangan terbaru yang menarik dalam bidang ini adalah penggunaan katalis *biochar* yang dihasilkan dari biomassa. Biomassa, yang mencakup berbagai jenis bahan organik seperti limbah pertanian, sisa-sisa tanaman, atau kayu, merupakan sumber daya potensial untuk memproduksi katalis *biochar*. Proses produksi *biochar* melalui pirolisis atau karbonisasi biomassa menghasilkan bahan padat yang kaya akan karbon dengan sifat-sifat yang unik. Katalis *biochar* memiliki potensi untuk digunakan dalam berbagai reaksi katalitik, termasuk reaksi transesterifikasi, oksidasi, hidrogenasi, dan banyak lagi.

Katalis *biochar* merupakan bagian penting dari upaya mencari solusi untuk dua tantangan utama yang dihadapi masyarakat moderen, yaitu memenuhi kebutuhan energi yang terus meningkat dan mengurangi dampak negatif terhadap lingkungan. Dalam konteks ini, *review* ini bertujuan untuk menyelidiki perkembangan terkini dalam pembuatan katalis berbasis *biochar* dari biomassa untuk proses transesterifikasi minyak jelantah menjadi biodiesel. *Review* ini akan mengkaji berbagai aspek yang mencakup metode produksi katalis berbasis *biochar*, karakteristik fisik dan kimianya, serta kinerjanya dalam proses transesterifikasi. Selain itu, implikasi potensial penggunaan katalis berbasis *biochar* dalam industri biodiesel juga akan dianalisis. Diharapkan bahwa penelitian ini akan memberikan wawasan yang mendalam tentang potensi penggunaan katalis berbasis *biochar* untuk memajukan produksi biodiesel yang lebih berkelanjutan dan ramah lingkungan.

Produksi Katalis *Biochar* dari Berbagai Biomassa

Bahan yang digunakan sebagai bahan baku *biochar* memiliki dampak langsung terhadap sifat dan kualitas *biochar* yang dihasilkan. Penggolongannya bahan baku *biochar* dapat ditinjau dari beberapa aspek, yaitu:

Bahan baku diproses dan tidak diproses

Bahan baku diproses adalah bahan baku biomassa yang telah melalui proses kimia (misalnya, *pulp* atau bubur kertas) dan atau proses biologi (misalnya, kotoran ternak, pupuk kandang, lumpur hasil pengolahan limbah secara biologi) di luar pengolahan mekanis sederhana untuk mengubah sifat fisiknya.

Bahan baku tidak diproses adalah bahan baku biomassa yang berasal kingdom tumbuhan, tumbuh di lingkungan yang bersih dan tidak terkontaminasi, yang mungkin telah melalui proses mekanis untuk mengubah sifat fisiknya (misalnya, ukuran partikel), tetapi belum melalui proses pengolahan kimia dan biologi (misalnya, fermentasi). Bahan-bahan yang termasuk kriteria ini adalah sekam dan jerami padi, tongkol dan kulit jagung, ampas tebu, rumput, bambu tempurung kelapa, residu tanaman minyak (cangkang kelapa sawit, serat kelapa sawit, tandan kosong kelapa sawit), residu tanaman polong-polongan (kedelai, semanggi), residu rami, kayu lunak (*softwoods*), kayu keras (*hardwoods*).

Pengkategorian ini bertujuan untuk memastikan bahwa bahan baku *biochar* harus bebas dari bahan berbahaya, sehingga aman dalam pengaplikasiannya (*International Biochar Initiative*, 2015).

Bahan baku berdasarkan sumbernya

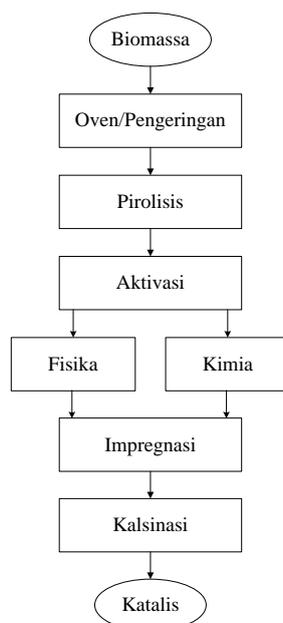
Berbasis Kayu. Bahan baku berbasis kayu menghasilkan *biochar* dengan kandungan C paling tinggi dibandingkan bahan lainnya. Contoh bahan berbasis kayu: tempurung kelapa, bambu, kulit kayu, serbuk gergaji (pinus, sengon, dll) dan bahan dasar kayu sejenisnya. Sisa tanaman pertanian. Bahan baku berbasis limbah pertanian menghasilkan *biochar* dengan kandungan C lebih rendah dibandingkan bahan baku kayu dan rumput, namun memiliki kandungan K dan P yang lebih tinggi jika dibandingkan limbah berbasis kayu. Contohnya: jagung, jerami gandum, jerami dan sekam padi, kentang, kedelai, tebu dan ampas tebu, kapas, anggur, jeruk, kacang tanah, biji jerami/lobak.

Klasifikasi bahan baku biomassa menurut (Yuan et al., 2019), bahan baku dikategorikan menjadi 3 yaitu berdasarkan kandungan air, lokasi tumbuh bahan baku (untuk membedakan tanaman air dan darat), dan sumber bahan baku yang dibagi menjadi tiga sumber yaitu berbasis tanaman, residu atau kotoran hewan ternak dan manusia, serta berbasis residu industri dan pertanian.

Metode Penelitian

Pembuatan katalis *biochar* dari biomassa melibatkan beberapa langkah. *Biochar* sendiri adalah material karbon yang dihasilkan dari pirolisis biomassa, dan katalis *biochar* dapat diperoleh dengan mengimobilisasi katalis pada *biochar*. Berikut adalah proses umumnya:

Biomassa yang akan digunakan sebagai bahan baku pembuatan katalis pertama-tama dikeringkan terlebih dahulu menggunakan oven dengan suhu 110°C sampai konstan. Biomassa dipanaskan dalam lingkungan tanpa oksigen atau dengan oksigen yang sangat terbatas. Biomassa yang telah kering kemudian dimasukkan kedalam alat pirolisis/karbonisasi untuk dilakukan proses pemanasan dengan suhu tertentu untuk menghasilkan *char* yang nantinya akan diproses untuk menjadi katalis. *Char* yang dihasilkan dari proses pirolisis kemudian dihaluskan terlebih dahulu untuk mensekarkan ukurannya. *Biochar* kemudian diaktivasi untuk meningkatkan porositasnya. Ada dua jenis aktivasi: fisik dan kimia. Aktivasi fisik melibatkan pemanasan *biochar* dengan gas yang tidak reaktif, sementara aktivasi kimia melibatkan penggunaan bahan kimia untuk meningkatkan porositas. Setelah diaktivasi kemudian *char* diimpregnasi. Proses impregnasi memungkinkan katalis untuk terikat secara kuat pada substrat, menciptakan material katalitik yang dapat digunakan dalam berbagai aplikasi, termasuk dalam reaksi kimia atau pengolahan limbah. Selanjutnya *biochar* yang telah diaktivasi dan diimpregnasi dengan katalis kemudian dipanaskan kembali untuk mengikat katalis pada struktur *biochar* secara lebih kuat. Ini disebut proses kalsinasi. Berikut ini gambaran proses pembuatan katalis *biochar* dari biomassa:



Gambar 1. Proses Pembuatan Katalis

Hasil dan Pembahasan

Katalis berbasis biochar dari tempurung kelapa (Cocos nucifera)

Tempurung kelapa adalah salah satu sumber biomassa yang potensial untuk digunakan sebagai bahan baku dalam pembuatan katalis *biochar*.



Gambar 2. Tempurung Kelapa

<https://mitalom.com/info-praktis/1560/cara-membuat-asap-cair-tempurung-kelapa-dan-manfaatnya/>

Kelapa atau *Cocos nucifera* merupakan tanaman yang mempunyai batang yang lurus tinggi dengan buah yang besar. Indonesia termasuk negara penghasil kelapa terbesar di dunia yang merata tumbuh di Jawa, Sumatra, Kalimantan, Sulawesi dan Irian Jaya (Agunantri dkk.,2018).

Tempurung kelapa digunakan sebagai bahan dasar pembuatan arang, karena tempurung kelapa memiliki sifat termal yang baik yang diakibatkan oleh tingginya kandungan selulosa dan lignin yang terdapat di dalam tempurung (Bledzki dkk.,2010).

Pada review ini khusus akan dibahas secara umum bagaimana pengaruh konsentrasi KOH dan waktu impregnasi pada katalis KOH/karbon aktif, serta menentukan jumlah pengaruh katalis dan waktu reaksi transesterifikasi dalam mensintesis minyak jelantah menjadi biodiesel, produk yang dihasilkan akan dilakukan pengujian mutu sesuai dengan standar SNI 7182-2015. Berikut ini tahapan proses dalam penelitian ini:

Sebelum dikarbonisasi/pirolisis, tempurung kelapa terlebih dahulu dibersihkan dari kotoran-kotoran/impuritasnya. Kemudian katalis dipersiapkan menjadi katalis heterogen basa. Setelah itu kemudian dimasukkan ke dalam *muffle furnace* untuk dilakukan proses karbonisasi pada suhu 500°C selama 4 jam. Hasil dari proses karbonisasi yang digunakan untuk pembuatan katalis yaitu *char*/arang. Kemudian *biochar* yang didapatkan dari proses karbonisasi kemudian dihancurkan dan dilakukan pengayakan menggunakan ayakan 80 mesh. Selanjutnya dilakukan proses aktivasi secara kimia dengan menggunakan larutan HCl. Setelah itu dilakukan analisis kadar air, kadar abu, dan kadar zat terbang. Selanjutnya *char* yang telah diaktivasi kemudian diimpregnasi dengan menggunakan KOH dengan variasi konsentrasi 1,2,3,4, dan 5 N selama 18,21, dan 24 jam pada suhu 30°C dengan kecepatan pengadukan 250 rpm. Setelah itu kemudian dikeringkan dalam oven pada suhu 200°C selama 30 menit. Selanjutnya *biochar* yang telah diimpregnasi kemudian dikalsinasi dalam *muffle furnace* pada suhu 500°C selama 3 jam, selanjutnya katalis sudah dapat digunakan dalam proses transesterifikasi minyak jelantah menjadi biodiesel.

Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa penyerapan kalium tertinggi dihasilkan pada konsentrasi KOH 5 N pada waktu impregnasi 21 jam yaitu sebesar 97,00%. Dimana ini menandai bahwa permukaan katalis telah memiliki sisi aktif yang bersifat basa sehingga dapat digunakan untuk mengkatalisis suatu reaksi salah satunya yaitu reaksi transesterifikasi pada pembuatan biodiesel.

Proses transesterifikasi dengan menggunakan katalis dari tempurung kelapa dengan variasi 1%, 3% dan 5% pada suhu 45, 55, 65 dan 75°C selama 1 jam. Hasil terbaik didapatkan pada penggunaan katalis 3% dengan suhu 55°C, yakni yield biodiesel sebesar 89,72%. Hasil tersebut telah memenuhi SNI 7182-2015 kecuali pada bilangan asamnya.

Pembuatan katalis berbasis biochar dari ampas buah merah



Gambar 3. Ampas Buah Merah

Ampas buah merah berasal dari produk samping dari proses ekstraksi buah merah dalam pembuatan sari atau minyak buah merah. Ampas buah merah diperoleh dari proses ekstraksi buah merah yaitu buah merah matang dipisahkan dari empulurnya (bagian kayu di tengah buah) kemudian dipotong-potong dan dicuci sampai bersih. Daging buah dikukus di atas api sedang selama 1-2 jam, setelah itu dipisahkan dari biji buah dengan cara dicuci dan diperas. Air ditambahkan hingga ketinggian 5 cm di atas permukaan bahan dan diperoleh sari buah merah yang menyerupai santan. Kemudian dimasak kembali sampai muncul minyak berwarna kehitaman pada permukaan bahan. Setelah didiamkan selama satu hari, akan terbentuk tiga lapisan yaitu air di lapisan bawah, ampas di lapisan tengah dan minyak di lapisan atas. Hasil samping dari proses ekstraksi buah merah yaitu lapisan tengah inilah yang dinamakan ampas buah merah.

Pada proses pembuatan katalis *biochar*nya hampir mirip dengan proses pembuatan katalis secara umum hanya saja ada beberapa tahapan yang dirubah oleh peneliti. Untuk tahapan prosesnya yaitu ampas buah merah dikeringkan terlebih dahulu, setelah itu dilakukan proses pirolisis dengan suhu 500°C, selanjutnya *biochar* yang didapatkan dari hasil pirolisis kemudian diaktivasi dengan menggunakan larutan KOH 1,5 N, campuran diaduk didalam erlenmeyer dengan menggunakan magnetic stirrer selama 2 jam. Setelah itu *biochar*nya disaring dan dicuci dengan menggunakan aquadest sampai pHnya netral kemudian di keringkan pada suhu 105°C selama 4 jam. Setelah itu dilanjutkan ketahap karbonisasi/kalsinasi pada suhu 150°C. Setelah itu, hasil dari proses karbonisasi kemudian disulfonasi dengan menggunakan H₂SO₄ dengan memvariasikan konsentrasi 1M, 3M dan 5M. kemudian dicuci dengan menggunakan aquadest sampai pHnya netral, setelah netral kemudian dikeringkan menggunakan oven pada suhu 105°C. kemudian katalis telah jadi dan siap untuk digunakan pada proses transesterifikasi minyak jelantah menjadi biodiesel.

Katalis dikarakterisasi menggunakan BET dan diperoleh hasil sebagai berikut ini:

Tabel 1. Karakterisasi BET

Katalis karbon aktif	UJI BET		
	Luas Permukaan (m ² /g)	Volume Pori (cc/g)	D-average (nm)
Sebelum aktivasi	18,222	3,326 x 10 ⁻²	9,759
Sesudah aktivasi	7,508	2,255 x 10 ⁻²	2,078

Dari hasil BET diatas dapat disimpulkan bahwa luas permukaan sesudah aktivasi lebih kecil yaitu 7,508 dibandingkan dengan luas permukaan sebelum aktivasi yaitu sebesar 18,222. Menurut khayoon dan hameed (2011) hal ini disebabkan karena adanya gugus sulfur pada asam sulfat yang terserap dan menyebabkan oklusi situs aktif didalam pori-pori pada permukaan karbon aktif. Kemudian dari beberapa jurnal yang telah saya baca, tahapan terakhir dalam pembuatan suatu katalis yaitu karbonisasi/kalsinasi sedangkan pada penelitian ini tahapan terakhirnya yaitu proses sulfonasi. Mungkin ini juga salah satu penyebab terjadinya pengecilan luas permukaan pada suatu katalis.

Pada penelitian ini proses terbaik yang menghasilkan *yield* terbesar yaitu sekitar 64,77% pada penggunaan katalis 1% dengan perbandingan rasio mol minyak jelantah dan *methanol* 1:12. *Yield* yang dihasilkan lebih kecil dibandingkan dengan *yield* pada jurnal-jurnal yang lain, ini dimungkinkan terjadi karena katalis yang dipakai memiliki luas permukaan yang kecil sehingga kurang membantu dalam proses reaksi transesterifikasi.

Katalis Berbasis Biochar dari Kulit durian

Kulit durian, sebagai salah satu limbah pertanian yang melimpah, dapat menjadi bahan baku yang berpotensi untuk menghasilkan *biochar* melalui proses pirolisis. Selain itu, pemanfaatan kulit durian untuk pembuatan *biochar* dapat menjadi solusi inovatif dalam mengelola limbah pertanian sambil menghasilkan produk bernilai tambah. Kulit

durian sebagai sumber biomassa memiliki kandungan karbon sebesar 40,98 % (Tan et al. 2017). Karbon sebagai pendukung katalis memiliki banyak manfaat, yakni sifat *inert*, stabil pada suhu tinggi (> 1000 K), kemampuan adsorpsi terhadap material logam, distribusi pori yang baik, dan juga relatif murah serta berlimpah.

Pembuatan *biochar* dari kulit durian memiliki potensi untuk memberikan dampak positif secara ekologis dan ekonomis. Di sisi ekologi, penggunaan *biochar* dapat meningkatkan kesuburan tanah, mengurangi emisi gas rumah kaca, dan mempromosikan pertanian berkelanjutan. Sementara itu, dari perspektif ekonomi, pemanfaatan limbah kulit durian untuk produksi *biochar* dapat memberikan peluang bisnis baru dan meningkatkan pendapatan petani.

Karbon aktif berasal dari kulit durian tidak dapat langsung dipakai sebagai katalis. Kulit durian sendiri tidak memiliki unsur-unsur zat aktif yang berperan sebagai katalis (Tan et al. 2017). Maka dari itu kulit durian harus di *treatment* terlebih dahulu untuk menjadikannya sebagai katalis yang dapat dipakai pada proses transesterifikasi minyak jelantah menjadi biodiesel.

Pada penelitian ini dilaksanakan 5 tahapan proses yaitu tahap *pre-treatment* kulit durian, tahap karbonisasi kulit durian, tahap impregnasi kulit durian dengan KOH, tahap kalsinasi dan tahap uji katalis melalui reaksi transesterifikasi.

Tabel 2. Tahapan Proses

No	Tahapan	Proses
1	Tahap <i>Pre-treatment</i> Kulit durian	Pada tahap ini kulit durian dibersihkan dengan cara mencucinya kemudian dipotong-potong seukuran 2-3mm, kemudian dikeringkan dalam oven pada suhu 120°C selama 4-5 jam. Setelah itu kemudian dimasukan kedalam ball mill untuk dihaluskan menjadi 100 mesh.
2	Tahap karbonisasi	Kulit durian yang ukurannya sudah seragam kemudian dimasukkan kedalam reactor pirolisis. Kemudian dipanaskan pada suhu 600°C selama 2 jam. Reactor pirolisis dialirkan juga gas nitrogen 200 liter/menit pada 30 menit pertama.
3	Tahap Impregnasi	<i>Biochar</i> yang dihasilkan dari proses karbonisasi kemudian diimpregnasi dengan menggunakan campuran KOH dan aquadest. Perbandingannya yaitu 40 gram KOH : 10 gram <i>biochar</i> , (b/). <i>Biochar</i> direndam dalam campuran KOH dan 250 ml aquadest.
4	Tahap Kalsinasi	Tahapan ini merupakan tahapan terakhir pada proses pembuatan katalis dari <i>biochar</i> . Pada tahap ini <i>biochar</i> yang telah diimpregnasi kemudian dikalsinasi selama 3 jam dengan laju pemanasan 5°C per menit. Pada tahap ini peneliti memvariasikan suhu kalsinasinya yaitu sebesar 500,600, dan 700°C
5.	Tahap Pengujian katalis	Katalis yang telah jadi kemudian digunakan dalam proses transesterifikasi menggunakan minyak jelantah untuk dijadikan biodiesel. Pada tahap ini minyak sebanyak 25 gram dimasukkan kedalam labu leher tiga kemudian dipanaskan sampai suhunya 65°C. setelah suhu mencapai kemudian dimasukkan campuran katalis dan methanol. Perbandingan methanol dan minyak yaitu 12:1 dan berat katalis 2-4% (b/b). setelah campuran dimasukkan kemudian di tunggu sampai waktu reaksi tercapai yaitu 60-150 menit. Dengan suhu tetap dijaga pada suhu 65°C. kemudian waktu tercapai produk dipisahkan dari katalisnya menggunakan kertas saring. Campuran didiamkan selama 18 jam supaya terbentuk 2 lapisan. Lapisan bagian atas disebut biodiesel dan lapisan bawah adalah gliserol. Kemudian biodiesel dicuci sampai 3 kali dengan menggunakan aquadest panas.

Pada penelitian ini dihasilkan biodiesel terbaik pada suhu 60°C, waktu reaksi 90 menit, *ratio methanol* 12:1 dengan berat katalis 3% dengan kadar metil ester 98,87% dan *yield* biodiesel 97%. Biodiesel yang dihasilkan pada penelitian ini telah memenuhi standar SNI.

Perbandingan Hasil Penelitian

Berikut ini adalah perbandingan tiga macam katalis *biochar* yang digunakan dalam penelitian untuk membuat biodiesel dari minyak jelantah dengan reaksi transesterifikasi:

Tabel 3. Perbandingan Hasil Penelitian

Formula terbaik	Katalis	Metode	Yield Biodiesel (%)	Penelitian
Minyak : Metanol 1 : 6	Tempurung Kelapa	Transesterifikasi	89,72	Zamhari, 2021
Minyak : Metanol 1 : 12	Ampas Buah Merah	Transesterifikasi	64,77	Rahma, 2023
Minyak : Metanol 1 : 12	Kulit durian	Transesterifikasi	97%	Munawar, 2019

Dari tabel diatas di lihat bahwa *yield* terbesar yang dihasilkan dengan menggunakan katalis berbasis *biochar* yaitu pada penggunaan katalis kulit durian dengan *yield* yang dihasilkan sebesar 97 %.

Kesimpulan

Proses pembuatan *biochar* dari berbagai jenis biomassa telah menunjukkan potensi besar dalam mendukung proses transesterifikasi minyak jelantah menjadi biodiesel. Dalam review kali ini, dapat diambil beberapa kesimpulan penting yaitu:

Biomassa, termasuk limbah pertanian, sisa panen, dan limbah makanan, merupakan sumber bahan baku yang melimpah untuk produksi *biochar*. Penggunaan biomassa untuk produksi *biochar* bukan hanya memanfaatkan limbah organik, tetapi juga berpotensi mengurangi dampak lingkungan dari pembuangan limbah tersebut. *Biochar* telah terbukti efektif sebagai katalis dalam proses transesterifikasi minyak jelantah menjadi biodiesel. Sifat-sifat fisik dan

kimia biochar yang unik mendukung reaksi kimia ini dengan efisiensi yang baik. Sehingga pada hasil review penelitian ini dihasilkan *yield* terbesar yaitu pada penggunaan katalis dari kulit durian, didapatkan *yield* sebesar 97%.

Proses produksi *biochar* dan penggunaannya dalam transesterifikasi minyak jelantah dapat membantu mengurangi jejak karbon dan menciptakan produk ramah lingkungan. Ini mendukung upaya dalam mencapai energi yang lebih bersih dan proses kimia yang lebih berkelanjutan. Meskipun *biochar* menunjukkan potensi yang besar, penelitian lebih lanjut diperlukan untuk memahami dengan lebih baik parameter produksi, kinerja katalis, dan potensi dampak lingkungan. Terutama, diperlukan upaya untuk menentukan keberlanjutan produksi *biochar*, termasuk masukan energi yang diperlukan dan netralitas karbon.

Dalam keseluruhan, penggunaan *biochar* sebagai katalis dalam proses transesterifikasi minyak jelantah menjadi biodiesel menawarkan peluang yang menarik untuk menggabungkan sumber daya yang berlimpah, teknologi yang efisien, dan dampak lingkungan yang positif. Dengan penelitian lebih lanjut dan inovasi, proses ini dapat menjadi kontribusi yang berharga dalam mencapai energi terbarukan dan berkelanjutan.

Daftar Pustaka

- Agunantri S, D., Faizah H, dan Vonny S. 2018. Variasi Waktu Aktivasi Terhadap Kualitas Karbon Aktif Tempurung Kelapa. *Jom Faperta UR*, Vol. 5, No. 1, pp 1-10
- Bledzki, A.K., Mamun, A.A. and Volk, J., 2010. Barley husk and coconut shell reinforced polypropylene composites: The effect of fibre physical, chemical and surface properties. *Composites Science and Technology*, 70(5), pp.840-846.
- Khayoon, M.S. and Hameed, B.H., 2011. Acetylation of glycerol to biofuel additives over sulfated activated carbon catalyst. *Bioresource technology*, 102(19), pp.9229-9235.
- Munawar, A., 2019. Persiapan Katalis Biochar Kulit Durian Terimpregnasi Koh pada Pembuatan Biodiesel (Doctoral dissertation, Universitas Sumatera Utara).
- Rahmah, P., Yuliansyah, A.T. and Wintoko, J., 2023, July. Preparasi Katalisator Berbasis Biochar dari Ampas Buah Merah untuk Reaksi Transesterifikasi Minyak Jelantah. In Seminar Nasional Teknik Kimia "Kejuangan" (pp. 3-1).
- Tan, Y.L., A.Z. Abdullah, and B.H. Hameed. 2017. Fast pyrolysis of durian (*Durio zibethinus L*) shell in a drop-type fixed bed reactor: Pyrolysis behavior and product analyses. *Bioresource Technology*, 243: 85-92.
- Yuan, Z., 2019. Agricultural Residues in the Netherlands and Their Role in the Soil Carbon Cycle-Are Residues Available for Bioenergy? (Doctoral dissertation).
- Zamhari, M., Junaidi, R., Rachmatika, N. and Oktarina, A., 2021. Pembuatan Katalis Berbasis Karbon Aktif Dari Tempurung Kelapa (*Cocos Nucifera*) Diimpregnasi KOH Pada Reaksi Transesterifikasi Sintesis Biodiesel. *KINETIKA*, 12(1), pp.23-31.