

**REVIEW: PEMBUATAN BIODIESEL DENGAN METODE TRANSESTERIFIKASI
MENGUNAKAN KATALIS BERBAHAN LIMBAH TULANG**

**REVIEW: PRODUCTION OF BIODIESEL WITH TRANSESTERIFICATION METHOD
USING CATALYST MADE FROM WASTE BONE**

M. Iqbal Al Ghifari dan Samik Samik*

Department of Chemistry, Faculty of Mathematics and Natural Sciences

Universitas Negeri Surabaya

Jl. Ketintang, Surabaya (60231), Telp. 031-8298761

** Corresponding author, tel/fax : 085731160005, email: samik@unesa.ac.id*

Abstrak. Di antara berbagai sumber energi terbarukan, biodiesel merupakan kandidat yang menjanjikan untuk menggantikan bahan bakar fosil. Biodiesel dihasilkan dari reaksi transesterifikasi antara minyak atau lemak dengan alkohol. Reaksi transesterifikasi memerlukan katalis yang sesuai. Terdapat dua macam katalis, yaitu katalis homogen dan heterogen. Katalis heterogen memiliki beberapa keunggulan, antara lain mudah dipisahkan dan dapat digunakan kembali tanpa melalui banyak proses. Saat ini banyak bahan alami yang dimanfaatkan sebagai bahan baku katalis heterogen seperti tulang. Pada artikel ini akan dibahas mengenai pembuatan biodiesel dengan katalis dari berbagai jenis limbah tulang seperti tulang sapi, kambing, domba, ayam, ikan, dan burung unta. Berdasarkan hasil review dari beberapa artikel diketahui bahwa katalis dari tulang yang memiliki yield biodiesel tertinggi berasal dari tulang ikan yang dikalsinasi pada suhu 997,42 °C selama 2 jam, katalis tersebut dapat menghasilkan yield biodiesel sebesar 97,73% dengan kondisi reaksi : perbandingan mol minyak : metanol sebesar 1 : 6,27, berat katalis 1,01% dari massa minyak dengan reaksi yang berlangsung selama 5 jam pada suhu 70 °C.

Kata kunci : *biodiesel, transesterifikasi, katalis, limbah tulang*

Abstract. Among various renewable energy sources, biodiesel is a promising candidate to replace fossil fuels. Biodiesel is produced from the transesterification reaction of oil or fat with alcohol. The transesterification reaction requires a suitable catalyst. There are two kinds of catalysts, namely homogeneous and heterogeneous catalysts. Heterogeneous catalysts have several advantages, including being easy to separate and can be reused without going through many processes. Currently, many natural materials are used as raw material for heterogeneous catalysts, such as bone. In this article, we will discuss the manufacture of biodiesel with a catalyst from various bone waste such as cow, goat, sheep, chicken, fish and ostrich bones. Based on the results of a review of several articles, it was known that the catalyst from bone which has the highest biodiesel yield comes from fish bone which is calcined at a temperature of 997.42 °C for 2 hours, the catalyst can produce a biodiesel yield of 97.73%. With the reaction conditions: ratio of moles of oil : methanol of 1 : 6.27, weight of the catalyst 1.01% of the mass of oil with a reaction that lasted for 5 hours at a temperature of 70 °C.

Key words: *biodiesel, transesterification, catalyst, waste bone*

PENDAHULUAN

Sumber daya energi dianggap sebagai sumber daya yang sangat penting untuk pembangunan sosial-ekonomi negara manapun [1]. Saat ini sumber energi utama yang digunakan berasal dari bahan bakar fosil [2]. Sayangnya

bahan bakar fosil ini merupakan sumber daya alam yang tidak dapat diperbarui (*non renewable energy*), sedangkan konsumsi energi terus meningkat dari hari ke hari karena pertumbuhan populasi dan industrialisasi yang sangat cepat [2]. Indonesia memiliki cadangan minyak bumi sebesar 4,17 miliar barel pada tahun 2021, jika

tidak terdapat penemuan baru, cadangan minyak bumi di Indonesia hanya akan tersedia hingga 9,5 tahun mendatang [3]. Oleh karena itu, penting untuk mencari sumber energi alternatif terbarukan [1].

Di antara berbagai sumber energi terbarukan, biodiesel merupakan kandidat yang menjanjikan untuk menggantikan bahan bakar fosil [1]. Hal ini karena biodiesel adalah bahan bakar terbarukan, bersih, *biodegradable*, tidak beracun, polutan rendah, ramah lingkungan dan menghasilkan pembakaran yang efisien karena memiliki kandungan oksigen dan titik nyala yang lebih tinggi dibandingkan dengan bahan bakar solar [4].

Biodiesel dihasilkan dari reaksi transesterifikasi. Transesterifikasi, juga disebut alkoholisis, adalah reaksi antara minyak atau lemak dengan alkohol untuk membentuk ester dan gliserol [5]. Reaksi transesterifikasi memerlukan katalis yang sesuai. Terdapat dua macam katalis, yaitu katalis homogen yang mempunyai fasa yang sama dengan reaktan dan katalis heterogen yang mempunyai fasa yang berbeda dari reaktan [6].

Produksi biodiesel menggunakan katalis homogen membutuhkan beberapa proses pemurnian seperti netralisasi dengan asam [7]. Katalis homogen sulit untuk didaur ulang, dan berpotensi menghasilkan air limbah berbahaya untuk lingkungan [8]. Selain itu ada juga beberapa batasan dalam aplikasinya, seperti kompleksitas dalam proses sintesis dan juga komplikasi dalam melakukan penerapan katalis homogen pada pabrik skala besar [9].

Katalis heterogen memiliki kekurangan yaitu, menghasilkan konversi yang buruk menjadi biodiesel [10]. Masalah tambahan yang dihadapi oleh katalis heterogen (padat) adalah rendahnya jumlah situs aktif, porositas mikro, beracun, mahal, berasal dari sumber daya yang tidak terbarukan dan tidak ramah lingkungan [11]. Katalis heterogen yang berasal dari limbah biologis telah mendapat perhatian lebih. Jenis katalis ini menawarkan beberapa keuntungan, termasuk sumber daya terbarukan, tidak beracun, dapat digunakan kembali, aktivitas katalitik tinggi, stabilitas dalam kondisi asam maupun basa, dan sifat toleransi air yang tinggi [6].

Katalis bahan alami dapat diperoleh dari bahan alam seperti cangkang telur [12] kulit udang [13], dan cangkang kerang [14] serta tulang hewan [11]. Sebelumnya dilaporkan katalis aktif untuk produksi biodiesel berasal dari tulang hewan [7]

yang merupakan sumber senyawa kalsium seperti kalsium fosfat dan kalsium karbonat [11]. Kalsinasi dari tulang hewan dapat menyebabkan dekomposisi termal menghasilkan senyawa kalsium oksida yang dapat digunakan sebagai katalis basa dalam reaksi transesterifikasi.

Berbagai jenis tulang yang dapat digunakan sebagai bahan katalis adalah tulang sapi, kambing, domba, ayam, ikan, dan burung unta. Hal ini karena tulang merupakan sumber dari senyawa kalsium seperti kalsium karbonat dan kalsium fosfat. Senyawa-senyawa kalsium tersebut diketahui memiliki aktivitas katalitik yang baik sehingga dapat digunakan sebagai katalis pada pembuatan biodiesel [15].

METODE

Metode yang digunakan untuk menyusun artikel review ini adalah dengan cara studi literatur dari jurnal-jurnal yang berkaitan dengan topik yang dibahas.

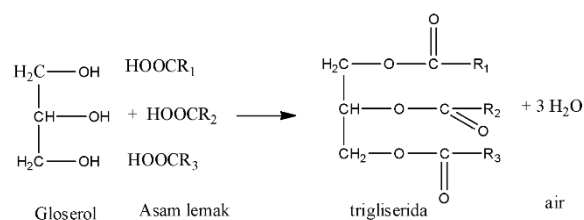
HASIL DAN PEMBAHASAN

Biodiesel

Biodiesel merupakan campuran mono alkil ester asam lemak rantai panjang [16]. Biodiesel adalah bahan bakar alternatif terbarukan untuk mesin diesel konvensional, yang tidak menuntut modifikasi mesin secara signifikan [17]. Kelebihan yang dimiliki biodiesel dibandingkan bahan bakar diesel biasa (dari fosil) yaitu biodiesel lebih ramah lingkungan karena emisi pembakarannya dapat diserap oleh tumbuhan, tidak mengandung SOx [18], tidak menghasilkan pencemaran udara, memiliki titik nyala dan angka setana yang tinggi [19], serta proses pembentukannya yang sederhana dan lebih cepat jika dibandingkan dengan pembuatan metana dan etanol [20]. Biodiesel biasanya disintesis dari trigliserida minyak nabati melalui reaksi transesterifikasi dengan alkohol. Pada reaksi ini, minyak bereaksi dengan alkohol untuk membentuk ester dan gliserol [21].

Minyak

Minyak merupakan salah satu bahan utama dalam proses produksi biodiesel. Minyak merupakan ester dari molekul gliserol dan tiga molekul asam lemak, oleh karena itu sering disebut sebagai triasilgliserol atau trigliserida [22].



Gambar 1. Reaksi pembentukan trigliserida

Terdapat dua jenis minyak yaitu minyak hewani dan nabati, minyak hewani merupakan minyak yang berasal dari hewan. Minyak ini biasa disebut sebagai lemak, sedangkan minyak nabati

merupakan minyak yang berasal dari tumbuhan [23]. Minyak sebagai bahan baku biodiesel dengan kadar asam lemak bebas (ALB) tinggi (0,5-3%), jika menggunakan katalis basa homogen, harus melalui 2 proses, yaitu esterifikasi dan transesterifikasi [24].

Proses pembuatan biodiesel lebih banyak menggunakan minyak nabati. Minyak nabati memiliki kandungan asam lemak yang berbeda-beda tergantung dari bahan dasar minyak tersebut. Berikut merupakan kandungan asam lemak dari beberapa jenis minyak nabati :

Tabel 1. Kandungan asam lemak dari beberapa jenis minyak nabati

| Jenis minyak | Kandungan | | | | | | Ref |
|---------------------------|------------|---------------|---------------|--------------|----------------|-------------|------|
| | Asam oleat | Asam linoleat | Asam palmitat | Asam stearat | Asam Arachidat | Asam laurat | |
| Minyak goreng sawit | 48,56% | - | 43,83% | 5,92% | - | - | [25] |
| Minyak jelantah | 35,31% | 9,35% | 35,52% | 3,32% | - | - | [26] |
| Minyak kelapa murni (VCO) | 14,09% | - | 17,16% | 5,68% | - | 32,73% | [27] |
| Minyak biji karet | 39,45% | 33,12% | 13,11% | 12,66% | 0,54% | - | [28] |
| Minyak biji jarak | 51,22% | 28,75% | 12,71% | 6,69% | 0,63% | - | [29] |

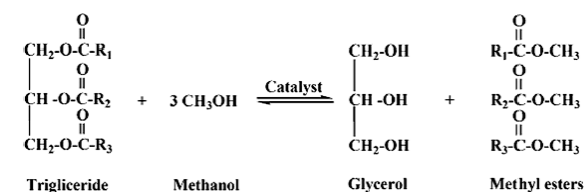
Transesterifikasi

Produksi biodiesel konvensional didasarkan pada transesterifikasi trigliserida dan alkohol. Transesterifikasi adalah istilah umum yang digunakan untuk menggambarkan reaksi organik di mana suatu ester diubah menjadi ester yang lain melalui pertukaran bagian alkoksi. Transesterifikasi, juga disebut alkoholisis, adalah reaksi minyak atau lemak dengan alkohol untuk membentuk ester dan gliserol [5].

Untuk memperoleh hasil maksimum dalam proses transesterifikasi maka alkohol yang digunakan harus bebas air dan kandungan asam lemak bebas dalam minyak kurang dari 1%. Adanya air dalam reaksi transesterifikasi akan menyebabkan terjadinya hidrolisis [30]. Dalam reaksi transesterifikasi, seringkali terjadi reaksi penyabunan yang tidak diinginkan. Hal tersebut disebabkan oleh tingginya kadar asam lemak bebas dan juga kadar air yang tinggi pada minyak jelantah. Untuk menghindari pembentukan sabun direkomendasikan bahan baku minyak yang

mengandung asam lemak bebas kurang dari 0.5% berat saat menggunakan katalis basa [31].

Reaksi transesterifikasi bertujuan menurunkan viskositas minyak, sehingga mendekati nilai viskositas solar. Nilai viskositas tinggi akan menyulitkan pemasukkan bahan bakar dari tangki ke ruang bahan bakar mesin dan menyebabkan atomisasi lebih sukar terjadi. Hal ini mengakibatkan pembakaran kurang sempurna dan menimbulkan endapan pada nozel [32]. Reaksi transesterifikasi pada produksi biodiesel digambarkan sebagai berikut :



Gambar 2. Reaksi transesterifikasi [33]

Katalis

Katalis merupakan zat yang bisa meningkatkan laju reaksi kimia pada suhu tertentu. Katalis berperan dalam suatu reaksi namun bukan sebagai pereaksi ataupun produk. Katalis menyediakan suatu jalur pilihan dengan energi aktivasi yang lebih rendah [34]. Dengan adanya penambahan katalis akan memungkinkan reaksi dapat berlangsung pada suhu lebih rendah akibat perubahan yang dipicunya terhadap pereaksi atau memungkinkan reaksi dapat berlangsung lebih cepat.

Berbagai katalis asam/basa homogen seperti: CH_3NaO , H_2SO_4 , HCl , NaOH , dan KOH telah digunakan untuk produksi biodiesel [35]. Namun, pemisahan katalis homogen dari biodiesel membutuhkan pencucian dengan air yang mengakibatkan hilangnya asam lemak alkil ester (FAAE), konsumsi energi yang lebih banyak, dan menghasilkan air limbah dalam jumlah besar [36]. Selain itu, katalis ini menyebabkan korosi reaktor dan sulit untuk dimurnikan kembali, sehingga meningkatkan biaya produksi biodiesel secara keseluruhan [2].

Masalah yang terkait dengan penggunaan katalis homogen konvensional pada pembuatan biodiesel dapat diselesaikan dengan menggunakan katalis heterogen [37]. Katalis heterogen menyederhanakan proses produksi biodiesel, karena katalis heterogen dapat digunakan kembali berulang kali tanpa kehilangan besar dalam aktivitas katalitiknya, hal ini membuat proses produksi biodiesel menjadi lebih ekonomis [38]. Salah satu bahan dasar yang dapat digunakan untuk membuat katalis heterogen adalah tulang hewan.

Katalis dari tulang hewan

Limbah tulang hewan dapat secara efektif diubah menjadi bahan berharga, seperti katalis. Tulang-tulang ini umumnya mengandung oksida logam alkali dan non-logam lainnya. Sebelumnya dilaporkan katalis aktif untuk produksi biodiesel berasal tulang hewan [7] yang merupakan sumber senyawa kalsium seperti kalsium fosfat dan kalsium karbonat [11]. Bahan utama dalam tulang adalah kalsium dan fosfor yang dapat diubah menjadi kalsium oksida, hidroksiapatit, dan beta trikalsium fosfat pada kalsinasi termal, senyawa-senyawa tersebut menunjukkan aktivitas katalitik yang cukup besar. Berikut beberapa tulang hewan yang dapat digunakan sebagai katalis:

1. Katalis dari tulang sapi

Tulang sapi merupakan salah satu jenis tulang yang dapat dimanfaatkan sebagai katalis biodiesel. Berdasarkan data Direktorat Jenderal Peternakan dan Kesehatan Hewan (Ditjen PKH) (Kementan), produksi daging sapi di Indonesia sebesar 437.783,23 ton pada 2021. Produksi daging sapi ini menghasilkan limbah tulang sapi yang masih belum banyak dimanfaatkan. Tulang sapi memiliki kandungan kalsium yang cukup tinggi yaitu sekitar 85.84%. Tulang sapi sebagian besar terdiri dari kristal kalsium karbonat (CaCO_3) dalam bentuk kalsit [11]. Kalsinasi pada suhu antara 635–865 °C menghasilkan beberapa dekomposisi karbonat untuk membentuk CaO . Kalsinasi pada suhu 950 °C menunjukkan bahwa konversi CaCO_3 menjadi CaO telah sempurna [11].

Tabel 2. Kandungan zat kimia pada tulang sapi sebelum dan sesudah kalsinasi [39]

| Senyawa | Tulang sapi (% wt) | Tulang sapi yang dikalsinasi (% wt) |
|-------------------------|--------------------|-------------------------------------|
| CaO | 70,10 | 74,50 |
| P_2O_5 | 23,20 | 20,50 |
| MgO | 1,10 | 1,10 |
| Al_2O_3 | 0,40 | 0,25 |
| SiO_2 | 1,00 | 0,20 |
| Na_2O | 0,60 | 1,10 |
| BaO | 0,20 | 0,20 |
| MnO_2 | 0,10 | 0,00 |
| SrO | 0,30 | 0,30 |
| PbO | 0,40 | 0,00 |
| K_2O | 0,10 | 0,10 |
| Fe_2O_3 | 0,50 | <0,01 |
| SO_3 | <0,01 | 0,40 |
| Cl | <0,01 | <0,01 |

2. Katalis dari tulang ayam

Di antara katalis alami, katalis turunan ayam (kotoran ayam, tulang ayam, dan kulit telur) telah dilaporkan dapat menghasilkan biodiesel dengan yield yang lebih tinggi (lebih dari 90%) [40]. Tulang ayam yang mudah diperoleh dapat dijadikan sebagai sumber mineral kalsium yang berpotensi sebagai sumber kalsium oksida (CaO) [41]. Kalsium pada tulang biasanya dalam bentuk kalsium fosfat (hidroksiapatit) dan kalsium karbonat [11]. Kalsinasi pada suhu tinggi dapat

menyebabkan transformasi hidroksiapatit menjadi tricalcium phosphate ($\beta\text{-Ca}_3(\text{PO}_4)_2$) yang dapat bertindak sebagai katalis basa untuk reaksi transesterifikasi dalam pembuatan biodiesel [2].

Tabel 3. Kandungan zat kimia pada tulang ayam

| Senyawa | % senyawa | | |
|---------|-------------------|------------------|------------------|
| | Sebelum kalsinasi | Kalsinasi 700 °C | Kalsinasi 900 °C |
| Ca | 55,32 | 54,08 | 53,58 |
| P | 43,19 | 41,28 | 40,99 |
| Mg | 0,845 | 0,844 | 0,813 |
| Na | 0,250 | 0,195 | 0,196 |
| K | 0,039 | 0,013 | 0,028 |
| Zn | 0,075 | 0,074 | 0,070 |
| Sr | 0,052 | 0,050 | 0,053 |

3. Katalis dari tulang ikan

Hidroksiapatit alami (NHAp) yang berasal dari limbah tulang ikan (*Lates calcarifer*) telah dimanfaatkan secara efektif sebagai pendukung preparasi katalis tembaga heterogen asam tembaga yang murah dan dapat didaur ulang [42]. Boutinguiza dkk, [43] berhasil memproduksi microHA dan nanoHA dengan rasio Ca/P 1,87 dari dua tulang ikan yang berbeda (*Xiphias gladius* dan *Thunnus thynnus*). Penelitian lain juga menunjukkan bahwa HA dapat disiapkan dari ikan Sheelavati dengan kalsinasi sederhana [44].

Penyiapan Katalis

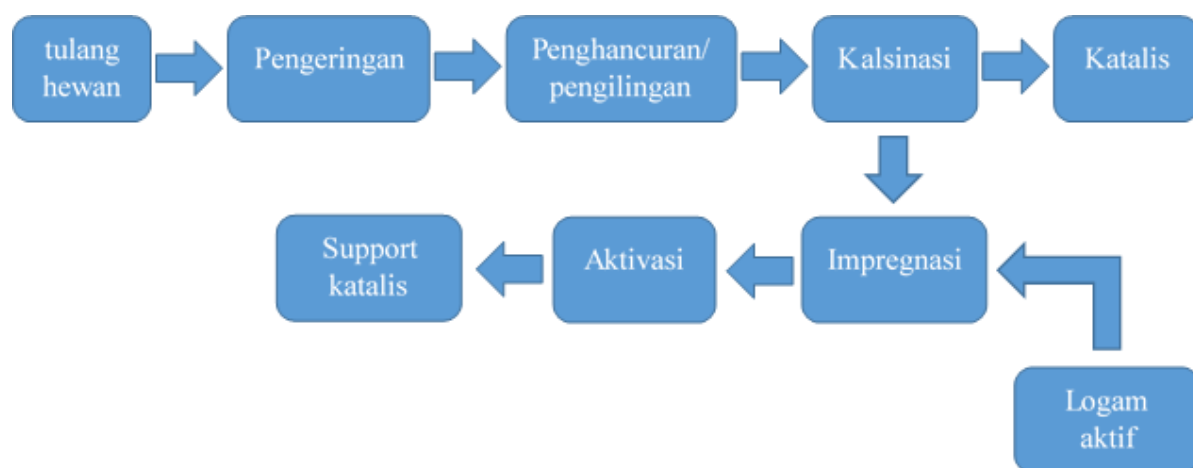
Ada berbagai cara yang dapat digunakan dalam sintesis katalis, seperti kalsinasi, pengendapan, gelasi, transformasi hidrotermal, dekantasi, impregnasi, penghancuran, filtrasi, penggilingan pencucian, pencampuran, pengeringan, dan aktivasi [46]. Metode yang paling sering digunakan dalam sintesis katalis dari

bahan alam adalah kalsinasi. Kalsinasi atau sering juga disebut sebagai dekomposisi termal adalah proses perlakuan panas yang diberikan terhadap material ataupun sampel dengan tujuan untuk mengeliminasi (mendekomposisi) senyawa yang berikatan secara kimia dengan material tersebut. Ikatan senyawa yang biasanya dihilangkan berupa kandungan air (H_2O), karbondioksida (CO_2) dan gas-gas lainnya [47].

Tabel 4. Kandungan senyawa pada tulang ikan [45]

| Senyawa | % senyawa | | |
|--------------------------------|-----------|------------|-------|
| | Lele | Barramundi | Tuna |
| CaO | 55,80 | 47,08 | 56,47 |
| P ₂ O ₅ | 35,60 | 30,63 | 33,59 |
| MgO | 2,13 | 1,28 | 1,61 |
| Na ₂ O | 5,65 | 20,43 | 7,57 |
| K ₂ O | 0,18 | 0,03 | 0,13 |
| SrO | 0,08 | 0,18 | 0,14 |
| Al ₂ O ₃ | 0,35 | 0,28 | 0,38 |
| SiO ₂ | 0,07 | 0,04 | 0,00 |
| Fe ₂ O ₃ | 0,08 | 0,00 | 0,00 |
| CuO | 0,02 | 0,03 | 0,06 |
| ZnO | 0,02 | 0,01 | 0,02 |

Kalsinasi dilakukan dalam rentang suhu yang luas, tergantung pada sifat dan jenis bahan baku. Sebagai contoh pada kalsinasi tulang sapi dapat terjadi antara suhu 635–865 °C [48]. Pada suhu yang lebih tinggi, karbonat dalam senyawa organik akan terurai menjadi CaO dengan pelepasan CO₂ [11]. Gambar 3 menggambarkan metode umum pembuatan katalis turunan CaO/Hap dan katalis pendukung yang diekstraksi dari limbah tulang hewan [6].



Gambar 3. Metode umum pembuatan katalis dari tulang hewan

Pengaruh Suhu Kalsinasi Pada Aktivitas Katalis

Suhu kalsinasi sangat mempengaruhi aktivitas katalitik, hal ini terkait dengan kepadatan situs aktif dari katalis [6]. Smith, et al., 2013 telah melakukan penelitian mengenai pengaruh suhu kalsinasi tulang sapi. Dalam penelitian tersebut dilakukan kalsinasi pada suhu 350-1100 °C. Pada suhu kalsinasi 350-550 °C tidak memiliki aktivitas katalitik. Senyawa CaO yang berperan dalam aktivitas katalitik baru terbentuk pada suhu kalsinasi >650 °C. Suhu kalsinasi optimum berada pada suhu 650-950 °C. Kalsinasi pada suhu diatas 950 °C menunjukkan penurunan aktivitas katalitik. Hal ini berkaitan dengan besarnya ukuran partikel, rendahnya total volume pori, dan kecilnya diameter pori yang dapat menyebabkan berkurangnya aktivitas katalitik [11].

Pada penelitian Nisar, dkk, 2017 dilakukan kalsinasi limbah tulang hewan pada suhu 250-1050 °C. Pada suhu 250-510 °C terjadi penurunan berat yang diakibatkan oleh dekomposisi makromolekul dan pelepasan molekul organik. Pada suhu 600-900 °C juga terjadi sedikit penurunan berat katalis, hal ini disebabkan oleh transformasi tulang menjadi hidroksiapatit (HAp). Pada suhu sekitar 900 °C terjadi penurunan berat tulang yang mengindikasikan transformasi hidroksiapatit (HAp) menjadi β -Ca₃(PO₄)₂. Pada suhu diatas 900 °C tidak terjadi penurunan berat tulang, hal ini menunjukkan stabilitas termal dari tulang hewan yang dikalsinasi terjadi pada suhu 900 °C [1]. Tulang hewan yang dikalsinasi melebihi 1000 °C meningkatkan efek sintering yang pada

akhirnya mengurangi luas permukaan dan akibatnya menyebabkan berkurangnya aktivitas katalitik [49].

Pengaruh Suhu Katalis Terhadap Luas Permukaan Katalis

Luas permukaan katalis merupakan faktor penting yang berperan dalam aktivitas katalitik katalis. Pengaruh suhu kalsinasi pada luas permukaan katalis sangat kuat bergantung pada jenis tulang yang digunakan. Pada penelitian yang dilakukan oleh Smith, dkk. [11] menyampaikan bahwa luas permukaan tulang sapi sebelum kalsinasi adalah 1,50 m²/g. Pada saat dikalsinasi luas permukaan tulang sapi mulai meningkat, luas permukaan tertinggi adalah 3,38 m²/g yang dicapai pada suhu kalsinasi 850 °C kemudian turun hingga 2,30 m²/g pada suhu kalsinasi 950 °C.

Pada penelitian yang dilakukan oleh Alsharifi dan Znad [50] katalis dari tulang ayam yang diimpregnasi dengan litium peningkatan suhu kalsinasi dari 750-950 °C menyebabkan penurunan luas permukaan katalis dari 8.62 m²/g menjadi 2.58 m²/g. Penurunan luas permukaan ini kemungkinan disebabkan oleh proses sintering dan perubahan fase kristal [50].

Nilai Yield Biodiesel Dengan Katalis Tulang Hewan

Banyak peneliti telah melaporkan efektivitas katalis yang berasal dari tulang hewan termasuk tulang sapi, kambing, ayam, dan ikan. Berikut beberapa contohnya :

Tabel 5. Nilai *yield* biodiesel dari beberapa jenis tulang hewan dengan cara sintesis dan kondisi reaksi yang berbeda-beda

| Jenis tulang | Sintesis katalis | Katalis | Jenis Minyak | Kondisi reaksi | | | | Yield % | Ref |
|--------------------|--|--|--------------------------|------------------------|-----------|------------------|----------------------|---------|------|
| | | | | Molar minyak : alkohol | % katalis | Suhu reaksi (°C) | Waktu reaksi (menit) | | |
| Tulang sapi | Kalsinasi pada suhu 750 °C selama 6 jam | CaO | Minyak kedelai | 1 : 6 | 8% | 65 | 180 | 97,3 | [11] |
| Tulang sapi | Kalsinasi pada suhu 800 °C | HAp | Minyak kedelai | 1 : 9 | 15% | 55 | 180 | 92,2 | [51] |
| Tulang sapi | Kalsinasi pada suhu 900 °C selama 5 jam kemudian diimpregnasi dengan sodium nitrat | Sodium-nHAp support | minyak Schizochytrium | 1 : 12 | 9% | 65 | 120 | 96,5 | [35] |
| Tulang sapi | Kalsinasi pada suhu 750 °C selama 4 jam | - | WCO | 1 : 15,49 | 6,42% | - | 128,67 | 97,59 | [52] |
| Tulang Kambing | Kalsinasi pada suhu 800 °C dan direndam dalam KOH | K/CaO | WCO | 1 : 9 | 6% | 65 | - | 84 | [53] |
| Tulang Kambing | Kalsinasi pada suhu 900 °C selama 3 jam | CaO | Minyak alga | 1 : 11 | 2% | 60 | 180 | 92 | [54] |
| Tulang Domba | Kalsinasi pada suhu 600 °C selama 8 jam | CaO/Hap | Minyak canola | 1 : 12 | 5% | 60 | 300 | 95,18 | [55] |
| Tulang ayam | Kalsinasi pada suhu 800 °C selama 4 jam | β -Ca ₃ (PO ₄) ₂ | Minyak E. compressa alga | 1 : 9 | 5% | 65 | 180 | 94 | [40] |
| Tulang ayam | Li/Zn yang dimuat dalam tulang ayam dan dikalsinasi pada 850 °C selama 4 jam | Li/Zn-tulang ayam | Minyak canola bekas | 1 : 18 | 4% | 60 | 210 | 95,1 | [50] |
| Tulang ikan | kalsinasi pada suhu 997,42 °C selama 2 jam | β -Ca ₃ (PO ₄) ₂ | Minyak kedelai | 1 : 6,27 | 1,01% | 70 | 300 | 97,73 | [56] |
| Tulang burung unta | Kalsinasi mulai suhu 600-1000 °C dengan kenaikan suhu 4 °C/menit | HAp | WCO | 1 : 15 | 5% | 60 | 240 | 90,56 | [57] |

Dari tabel tersebut diketahui bahwa penggunaan katalis dari tulang hewan yang paling efektif berasal dari katalis dari tulang ikan yang dikalsinasi pada suhu 997,42 °C selama 2 jam.

Reaksi tersebut dilakukan dengan menggunakan minyak kedelai dengan perbandingan mol minyak : metanol 1 : 6,27 dan berat katalis 1,01 % dari massa minyak, reaksi tersebut dilakukan pada suhu 70 °c selama 6 jam. dari reaksi tersebut dihasilkan yield biodiesel sebesar 97,73%.

PENGGUNAAN KEMBALI KATALIS DARI LIMBAH TULANG

Katalis heterogen yang disintesis dari limbah tulang dapat digunakan kembali untuk beberapa kali reaksi transesterifikasi. Banyak peneliti telah melaporkan penggunaan kembali katalis dari tulang yang sangat baik hingga 4-5 kali reaksi berturut-turut.

Pada penelitian yang dilakukan oleh Farooq, dkk. [2] melaporkan bahwa penggunaan kembali yang sangat baik dari katalis yang berasal dari tulang ayam selama empat kali reaksi berturut-turut. Obadiyah, dkk. [7] juga melaporkan bahwa katalis yang berasal dari limbah tulang hewan dapat digunakan kembali hingga lima kali berturut-turut dengan persen hasil lebih dari 80%. Smith, dkk. [11] melaporkan bahwa penggunaan kembali katalis dari limbah tulang sapi tanpa pengolahan lebih lanjut, menghasilkan persen hasil tinggi (> 90%) yang diperoleh dari empat kali reaksi berturut-turut, sebelum kehilangan aktivitas (12% dalam pengulangan kelima). Penggunaan kembali yang sangat baik dari katalis berbahan dasar limbah tulang menjadikan katalis ini berpotensi untuk menjadi katalis komersial dalam produksi biodiesel [58].

KESIMPULAN

Kesimpulan dari artikel review ini adalah tulang hewan dapat digunakan menjadi katalis yang baik dalam proses transesterifikasi. Katalis dari tulang hewan memiliki karakteristik yang berbeda-beda tergantung jenis tulang dan perlakuan (kalsinasi) yang dilakukan. Berdasarkan artikel yang telah di review, katalis tulang yang memberikan nilai *yield* terbaik adalah katalis tulang ikan yang dikalsinasi pada suhu 997,42 °C, perbandingan mol minyak : metanol sebesar 1 : 6,27, berat katalis 1,01% dari massa minyak dengan reaksi yang berlangsung selama 5 jam pada suhu 70 °C. Pada pembuatan biodiesel dengan cara tersebut dihasilkan *yield* biodiesel sebesar 97,73%. Selain itu katalis dari tulang hewan juga memiliki

nilai *reusability* yang tinggi sehingga dapat digunakan berkali-kali.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] J. Nisar, R. Razaq, M. Farooq, M. Iqbal, R. A. Khan, M. Sayed, A. Shah dan I. U. Rahman, "Enhanced Biodiesel Production From Jatropha Oil Using Calcined Waste Animal Bones as Catalyst," *Renewable Energy*, vol. 101, pp. 111-119, 2017.
- [2] M. Farooq dan A. Ramli, "Biodiesel Production from Low FFA Waste Cooking Oil Using Heterogeneous Catalyst Derived from Chicken Bones," *Renewable Energy*, vol. 76, pp. 362-368, 2015.
- [3] A. Pribadi, Kementerian Energi Dan Sumber Daya Mineral Siaran Pers Nomor: 028.Pers/04/SJI/2021, Jakarta: Kepala Biro Komunikasi, Layanan Informasi Publik, dan Kerja Sama Kementerian ESDM, 2021.
- [4] P. D. Patil dan S. Deng, "Optimization of Biodiesel Production From Edible and non-Edible Vegetable Oils," *Fuel*, vol. 88, no. 7, pp. 1302-1306, 2009.
- [5] A. S. Chouhan dan A. K. Sarma, "Modern Heterogeneous Catalysts for Biodiesel Production: A Comprehensive Review," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 15, p. 4378-4399, 2011.
- [6] S. H. Abdullah, N. H. Hanapi, A. Azid, R. Umar, H. Juahir, H. Khatoun dan A. Endut, "A Review of Biomass-Derived Heterogeneous Catalyst for a Sustainable Biodiesel Production," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 70, pp. 1040-1051, 2017.
- [7] A. Obadiyah, G. A. Swaroopa, S. V. Kumar, K. R. Jeganathan dan A. Ramasubbu, "Biodiesel Production From Palm Oil Using Calcined Waste Animal Bone as Catalyst," *Bioresource Technology*, vol. 116, pp. 512-516, 2012.
- [8] Y. C. Sharma dan B. Singh, "Development of Biodiesel: Current Scenario," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 3, no. 6-7, pp. 1646-1651, 2009.
- [9] D. M. Marinković, M. V. Stanković, A. V. Veličković, J. M. Avramović, M. R. Miladinović, O. O. Stamenković, V. B. Veljković dan D. M. Jovanović, "Calcium

- Oxide as a Promising Heterogeneous Catalyst for Biodiesel Production: Current State and Perspectives,” *Renewable and Sustainable Energy Review*, vol. 56, pp. 1387-1408, 2016.
- [10] Y. M. Sani, W. Daud dan A. A. Aziz, “Activity of Solid Acid Catalysts for Biodiesel Production: a Critical Review,” *Applied Catalysis A: General*, vol. 470, pp. 140-161, 2014.
- [11] S. M. Smith, C. Oopathum, V. Weeramongkhonlert, C. B. Smith, S. Chaveanghong, P. Ketwong dan S. Boonyuen, “Transesterification of Soybean Oil Using Bovine Bone Waste as New Catalyst,” *Bioresource Technology*, vol. 143, pp. 686-690, 2013.
- [12] J. Goli dan O. Sahu, “Development of Heterogeneous Alkali Catalyst From Waste Chicken Eggshell for Biodiesel Production,” *Renewable Energy*, vol. 128, pp. 142-154, 2018.
- [13] L. Yang, A. Zhang dan X. Zheng, “Shrimp Shell Catalyst for Biodiesel Production,” *Energy & Fuels*, vol. 23, no. 8, pp. 3859-3865, 2009.
- [14] S. Niju, K. M. Begum dan N. Anantharaman, “Enhancement of Biodiesel Synthesis Over Highly Active CaO Derived from Natural White Bivalve Clam Shell,” *Arabian Journal of Chemistry*, vol. 9, no. 5, pp. 633-639, 2016.
- [15] N. Nakatani, H. Takamori, K. Takeda dan H. Sakugawa, “Transesterification Of Soybean Oil Using Combusted Oyster Shell Waste As a Catalyst,” *Bioresource Technology*, vol. 100, no. 3, pp. 1510-1513, 2009.
- [16] F. D. Nurdyaningrum dan H. Nasrudin, “Pemurnian dan Karakterisasi Biodiesel Dari Minyak Biji Kelor (*Moringa oleifera*) dengan Menggunakan Adsorben Bentonit,” *Unesa Journal of Chemistry*, vol. 2, no. 1, 2013.
- [17] A. Krishnasamy dan K. R. Bukkarapu, “A Comprehensive Review of Biodiesel Property Prediction Models for Combustion Modeling Studies,” *Fuel*, vol. 302, 2021.
- [18] A. Marjaya, R. Achmad dan D. Murniati, “Efektivitas Berat Katalis dari Abu Kulit Kelapa pada Reaksi Transesterifikasi Minyak Sawit Menjadi Metil Ester,” *Jurnal Kajian Ilmiah UBJ*, vol. 15, no. 1, pp. 35-48, 2015.
- [19] P. L. Boey, G. P. Maniam dan S. Abd Hamid, “Performance of Calcium Oxide as a Heterogeneous Catalyst in Biodiesel Production: A Review,” *Chemical Engineering Journal*, vol. 168, no. 1, pp. 15-22, 2011.
- [20] L. T. Thanh, K. Okitsu, L. V. Boi dan Y. Maeda, “Catalytic Technologies for Biodiesel Fuel Production and Utilization of Glycerol: A Review,” *Catalysts*, vol. 2, no. 1, pp. 191-222, 2012.
- [21] V. Singh, L. Belova, B. Singh dan Y. C. Sharma, “Biodiesel Production Using a Novel Heterogeneous Catalyst, Magnesium Zirconate ($Mg_2Zr_5O_{12}$): Process Optimization Through Response Surface Methodology (RSM),” *Energy Conversion and Management*, vol. 174, pp. 198-207, 2018.
- [22] Y. K. Salimi, N. I. Ischak dan Y. Ibrahim, “Karakterisasi Asam Lemak Hasil Hidrolisis Pada Minyak Biji Kelor (*Moringa oleifera*) Dengan Metode Kromatografi Gas-Spektroskopi Massa,” *Jambura Journal of Chemistry*, vol. 1, no. 1, pp. 6-14, 2019.
- [23] R. J. Fessenden dan J. S. Fessenden, *Kimia Organik Edisi Ketiga Jilid 1*, Jakarta: Erlangga, 1986.
- [24] I. M. Atadashi, M. K. Aroua, A. A. Aziz dan N. M. N. Sulaiman, “The Effects Of Catalysts In Biodiesel Production: A Review,” *Journal of industrial and engineering chemistry*, vol. 19, no. 1, pp. 14-26, 2013.
- [25] M. T. Haryono, S. Solihudin, E. Ernawati dan S. Pramana, “Limbah Cair Industri Minyak Goreng Sawit sebagai Bahan Baku Pembuatan Biodiesel,” *EduChemia (Jurnal Kimia dan Pendidikan)*, vol. 4, no. 1, pp. 36-48, 2019.
- [26] W. T. Wahyuni dan M. Srimati, “Pemanfaatan Ampas Tebu Untuk Meningkatkan Kualitas (Sifat Organoleptik, Parameter Oksidasi, Dan Profil Asam Lemak) Pada Minyak Jelantah,” *Nutri Sains*, vol. 2, no. 1, 2017.

- [27] A. Novilla, P. Nursidika dan W. Mahargyani, "Komposisi Asam Lemak Minyak Kelapa Murni (Virgin Coconut Oil) yang Berpotensi sebagai Anti Kandidiasis," *EduChemia (Jurnal Kimia dan Pendidikan)*, vol. 2, no. 2, pp. 161-173, 2017.
- [28] D. A. Setyawardhani, S. Distantina, H. Henfiana dan A. S. Dewi, "Pembuatan Biodiesel Dari Asam Lemak Jenuh Minyak Biji Karet," dalam *Seminar Rekayasa Kimia dan Proses*, 2010.
- [29] H. Husin, M. Mahidin dan M. Marwan, "Studi Penggunaan Katalis Abu Sabut Kelapa, Abu Tandan Sawit Dan K₂CO₃ Untuk Konversi Minyak Jarak Menjadi Biodiesel," *Reaktor*, vol. 13, no. 4, pp. 254-261, 2011.
- [30] J. V. Gerpen, "Biodiesel Processing and Production," *Fuel Processing Technology*, vol. 86, no. 10, pp. 1097-1107, 2005.
- [31] E. Lotero, Y. Liu, D. E. Lopez, K. Suwannakarn, D. A. Bruce dan J. G. J. Goodwin, "Synthesis of Biodiesel via Acid Catalysis," *Industrial & Engineering Chemistry Research*, vol. 44, no. 14, pp. 5353-5363, 2005.
- [32] E. Hambali, S. Mujdalifah, A. H. Tambunan, A. W. Pattiwiri dan R. Hendroko, *Teknologi Bioenergi*, Jakarta: Agro Media Pustaka, 2017.
- [33] R. Shan, L. Lu, Y. Shi, H. Yuan dan J. Shi, "Catalysts From Renewable Resources For Biodiesel Production," *Energy Conversion and Management*, vol. 178, p. 277-289, 2018.
- [34] P. Purnami, I. N. G. Wardana dan K. Veronika, "Pengaruh Penggunaan Katalis Terhadap Laju Dan Efisiensi Pembentukan Hidrogen," *Jurnal Rekayasa Mesin*, vol. 6, no. 1, pp. 51-59, 2015.
- [35] C. N. Kowthaman dan A. M. S. Varadappan, "Synthesis, Characterization, and Optimization of Schizochytrium Biodiesel Production," *International Journal of Energy Research*, vol. 43, no. 8, pp. 3182-3200, 2019.
- [36] M. Raita, T. Laothanachareon, V. Champreda dan N. Laosiripojana, "Biocatalytic Esterification of Palm Oil Fatty Acids For Biodiesel Production Using Glycine-Based Cross-Linked Protein Coated Microcrystalline Lipase," *Journal of Molecular Catalysis B: Enzymatic*, vol. 73, pp. 74-79, 2011.
- [37] A. K. Endalew, Y. Kiros dan R. Zanzi, "Inorganic Heterogeneous Catalysts For Biodiesel Production From Vegetable Oils," *Biomass And Bioenergy*, vol. 35, no. 9, pp. 3787-3809, 2011.
- [38] S. Tang, H. Zhao, Z. Song dan O. Olubajo, "Glymes As Benign Co-Solvents For CaO-Catalyzed Transesterification Of Soybean Oil To Biodiesel," *Bioresource Technology*, vol. 139, pp. 107-112, 2013.
- [39] M. Mohadesi, A. Gouran dan A. D. Dehnavi, "Biodiesel Production Using Low Cost Material as High Effective Catalyst in a Microreactor," *Energy*, vol. 219, 2021.
- [40] M. A. Rahman, "Valorization of Harmful Algae *E. Compressa* for Biodiesel Production in Presence of Chicken Waste Derived Catalyst," *Renewable Energy*, vol. 129, pp. 132-140, 2018.
- [41] R. Mohadi, A. Lesbani dan Y. Susie, "Preparasi dan Karakterisasi Kalsium Oksida (CaO) dari Tulang Ayam," *Chemistry Progress*, vol. 6, no. 2, pp. 76-80, 2013.
- [42] R. Chakraborty dan D. RoyChowdhury, "Fish Bone Derived Natural Hydroxyapatite-Supported Copper Acid Catalyst: Taguchi Optimization of Semibatch Oleic Acid Esterification," *Chemical Engineering Journal*, Vol. %1 dari %2215-216, pp. 491-499, 2013.
- [43] M. Boutinguiza, J. Pou, R. Comesaña, F. Lusquiños, A. D. Carlos dan B. Leon, "Biological Hydroxyapatite Obtained From Fish Bones," *Materials Science and Engineering: C*, vol. 32, no. 3, pp. 478-486, 2012.
- [44] B. R. Sunil dan M. Jagannatham, "Producing Hydroxyapatite From Fish Bones By Heat Treatment," *Materials Letters*, vol. 185, pp. 411-414, 2016.
- [45] P. V. Nam, N. Van Hoa dan T. S. Trung, "Properties of Hydroxyapatites Prepared From Different Fish Bones: A Comparative Study," *Ceramics International*, vol. 45, no. 16, pp. 20141-20147, 2019.

- [46] M. Crucianelli, B. M. Bizzarri dan R. Saladino, "SBA-15 Anchored Metal Containing Catalysts in the Oxidative Desulfurization Process," *Catalysts*, vol. 9, no. 12, 2019.
- [47] N. K. Al-Maram, *Kajian Kalsinasi Tulang Sotong Berdasarkan Variasi Temperatur*, Jakarta: UIN Syarif Hidayatullah, 2012.
- [48] I. Halikia, L. Zoumpoulakis, E. Christodoulou dan D. Prattis, "Kinetic Study of the Thermal Decomposition of Calcium Carbonate by Isothermal Methods of Analysis," *European Journal of Mineral Processing and Environmental Protection*, vol. 1, no. 2, pp. 89-102, 2001.
- [49] Z. Yang dan W. Xie, "Soybean Oil Transesterification Over Zinc Oxide Modified With Alkali Earth Metals," *Fuel Processing Technology*, vol. 88, no. 6, pp. 631-638, 2007.
- [50] M. AlSharifi dan H. Znad, "Transesterification of Waste Canola Oil by Lithium/Zinc Composite Supported on Waste Chicken Bone as an Effective Catalyst," *Renewable Energy*, vol. 151, pp. 740-749, 2020.
- [51] A. A. Ayodeji, I. E. Blessing, B. Rasheed, O. E. Modupe, O. Ajibola, A. G. Oluwabunmi dan F. S. Ojo, "Production of Biodiesel From Soybean Oil Using Calcium Oxide and Cow Bone as Catalysts," *Materials Focus*, vol. 7, no. 4, pp. 542-548, 2018.
- [52] P. Suwannasom, R. Sriraksa, P. Tansupo dan C. Ruangviriyachai, "Optimization of Biodiesel Production From Waste Cooking Oil Using Waste Bone as a catalyst," *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects*, vol. 38, no. 21, pp. 3221-3228, 2016.
- [53] C. H. Ali, A. H. Asif, T. Iqbal, A. S. Qureshi, M. A. Kazmi, S. Yasin, M. Danish dan B. Z. Mu, "Improved Transesterification of Waste Cooking Oil Into Biodiesel Using Calcined Goat Bone as a Catalyst," *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effect*, vol. 40, no. 9, pp. 1076-1083, 2018.
- [54] T. T. Mamo dan Y. S. Mekonnen, "Microwave-Assisted Biodiesel Production from Microalgae, *Scenedesmus* Species, Using Goat Bone-Made Nano-Catalyst," *Applied Biochemistry and Biotechnology*, vol. 190, no. 4, pp. 1147-1162, 2020.
- [55] R. Ghanei, R. K. Dermani, Y. Salehi dan M. Mohammadi, "Waste Animal Bone as Support for CaO Impregnation in Catalytic Biodiesel Production from Vegetable Oil," *Waste Biomass Valorization*, vol. 7, no. 3, pp. 527-532, 2016.
- [56] R. Chakraborty, S. Bepari dan A. Banerjee, "Application of Calcined Waste Fish (*Labeo rohita*) Scale as Low-Cost Heterogeneous Catalyst for Biodiesel Synthesis," *Bioresource Technology*, vol. 102, no. 3, pp. 3610-3618, 2011.
- [57] H. M. Khan, T. Iqbal, C. H. Ali, A. Javaid dan I. I. Cheema, "Sustainable Biodiesel Production from Waste Cooking Oil Utilizing Waste Ostrich (*Struthio camelus*) Bones Derived Heterogeneous Catalyst," *Fuel*, vol. 277, 2020.
- [58] F. Hussain, S. Alshahrani, M. M. Abbas, H. M. Khan, A. Jamil, H. Yaqoob, M. E. M. Soudagar, M. Imran, M. Ahmad dan M. Munir, "Waste Animal Bones as Catalysts for Biodiesel Production; A Mini Review," *Catalysts*, vol. 11, no. 5, 2021.