

Sintesis Dan Karakterisasi Karbon Aktif Doping TiO₂ Untuk Menurunkan Kadar Asam Lemak Bebas Pada Minyak Jelantah

Cen Rahman, Mulda Muldarisnur*

Laboratorium Fisika Material, Departemen Fisika,
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Andalas
Kampus Unand Limau Manis, Padang, 25163 Indonesia

Info Artikel

Histori Artikel:

Diajukan: 31 Agustus 2023
Direvisi: 19 Oktober 2023
Diterima: 22 November 2023

Kata kunci:

Minyak jelantah
TiO₂
Karbon aktif
Asam lemak bebas

Keywords:

Used cooking oil
TiO₂
Activated Carbon
Free Fatty Acids

Penulis Korespondensi:

Muldarisnur
Email: muldarisnur@sci.unand.ac.id

ABSTRAK

Telah dilakukan penelitian penurunan kadar asam lemak pada minyak jelantah menggunakan karbon aktif dari serbuk gergaji kayu jati yang didoping TiO₂. Minyak jelantah yang digunakan adalah minyak hasil 5x penggorengan. Karbon aktif berasal dari serbuk gergaji kayu jati yang diaktivasi menggunakan ZnCl₂ 10%. Karbon yang telah diaktivasi diuji kadar air dan kadar abu. Karbon aktif didoping dengan TiO₂ dengan variasi massa dalam gram dengan perbandingan TiO₂ : Karbon aktif 3:100, 6:100, 9:100, dan 12:100 menggunakan sintesis padatan dengan suhu 500 °C. Karbon yang telah didoping dilakukan uji XRD. Minyak jelantah yang telah dimurnikan dilakukan pengujian kadar asam lemak bebas dan uji kejernihan dengan UV-vis. Hasil pengujian kadar air karbon aktif 3,60%. Kadar abu karbon aktif sebesar 1,95%. Pada uji XRD ukuran kristal karbon aktif 38,9 nm sedangkan setelah didoping dengan TiO₂ ukuran kristal berkurang menjadi 27,2 nm. Pada pengujian kadar asam lemak bebas menurun dari 1,18% menjadi 0,29%. Pada uji UV-vis nilai absorbansi minyak jelantah lebih tinggi yaitu 4,5734 sedangkan minyak pemurnian memiliki nilai absorbansi 4,1985. Hasil penelitian menunjukkan perbandingan massa karbon aktif dengan TiO₂ yang terbaik yaitu TiO₂ : Karbon aktif 9:100. Penggunaan karbon aktif doping TiO₂ sebagai adsorben mampu menurunkan kadar asam lemak bebas pada minyak jelantah.

Research has been conducted on reducing the levels of free fatty acids in used cooking oil using activated carbon derived from teak sawdust doped with TiO₂. The used cooking oil employed in this study underwent five frying cycles. The activated carbon was derived from teak sawdust and activated using a 10% ZnCl₂ solution. The activated carbon was tested for moisture and ash content. The activated carbon was doped with TiO₂ in various mass ratios, specifically 3:100, 6:100, 9:100, and 12:100, using solid-state synthesis at a temperature of 500 °C. The doped carbon was subjected to XRD analysis. The purified used cooking oil was tested for free fatty acid levels and clarity using UV-vis spectroscopy. The moisture content of the activated carbon was found to be 3.60%, while the ash content was 1.95%. XRD analysis revealed that the crystal size of the activated carbon was 38.9 nm, which decreased to 27.2 nm after TiO₂ doping. Free fatty acid levels decreased from 1.18% to 0.29% in the free fatty acid content test. In the UV-vis measurement, the absorbance value for used cooking oil was higher at 4.5734, while purified oil had an absorbance value of 4.1985. The research results indicated that the best mass ratio of activated carbon to TiO₂ was 9:100. The use of TiO₂ doped activated carbon as an adsorbent effectively reduced the levels of free fatty acids in used cooking oil.

Copyright © 2024 Author(s). All rights reserved

I. PENDAHULUAN

Minyak goreng merupakan salah satu kebutuhan utama masyarakat Indonesia sebagaimana terlihat dari konsumsi minyak yang lebih dari 290 juta ton per tahun. Minyak goreng merupakan bahan pokok yang berperan penting untuk mencukupi kebutuhan gizi masyarakat (Sopianti dkk., 2017). Minyak goreng berupa minyak jagung, minyak sayur, dan minyak samin yang digunakan di rumah tangga hingga industri baik kecil maupun besar menghasilkan limbah minyak jelantah. Minyak jelantah dapat didaur ulang untuk keperluan kuliner, namun kandungan kimianya bersifat *karsinogenik* sehingga dapat meningkatkan risiko timbulnya kanker (Nur, 2012).

Kerusakan lemak selama proses penggorengan diakibatkan oleh pemanasan yang berlebihan serta kontak antara minyak dengan bahan pangan dan udara. Kerusakan minyak goreng akibat pemanasan ditandai dengan perubahan warna, kenaikan kekentalan, kenaikan kandungan asam lemak bebas, kenaikan peroksida, dan penurunan bilangan iodium (Hidayati dkk., 2016). Kerusakan tersebut menyebabkan minyak goreng mengalami perubahan kimia seperti proses hidrolisis, polimerisasi, oksidasi, dan reaksi pencoklatan. Proses oksidasi dan polimerisasi dapat merusak sebagian vitamin dan asam lemak esensial yang terdapat dalam minyak sehingga dapat mengakibatkan keracunan dalam tubuh dan berbagai macam penyakit, seperti diare, pengendapan lemak dalam pembuluh darah, dan kanker (Ketaren, 2008). Oleh karena itu pemurnian minyak jelantah perlu diupayakan dengan tujuan penghematan namun tidak membahayakan kesehatan serta mudah dilakukan. Upaya pengolahan minyak jelantah dapat dilakukan dengan berbagai cara, salah satunya dengan cara adsorpsi.

Adsorpsi dapat dilakukan dengan menggunakan beberapa cara seperti penggunaan karbon aktif dari arang, titanium dioksida (TiO₂), dan zeolit alam. Proses adsorpsi dapat dipercepat dengan menggunakan TiO₂ sebagai katalisator (Suarsa dkk., 2022, Wulandari dkk., 2018, Anggini & Muldarisnur, 2021). Adsorben TiO₂ - zeolit alam efektif dalam mengadsorpsi asam lemak pada minyak jelantah. Kadar asam lemak dapat diturunkan dalam waktu tidak terlalu lama (sekitar 40 menit) dengan adsorben tersebut. Kekurangan material ini adalah kadar asam lemak pada minyak jelantah belum memenuhi SNI. Minyak jelantah yang dimurnikan dengan adsorben TiO₂ - zeolit alam memiliki kadar asam lemak 0,773% yang dapat diartikan bahwa 0,773 gram asam lemak bebas terdapat dalam setiap 100 gram minyak.

Adsorben lain yang dapat digunakan adalah arang aktif (Indah & Hendrawani, 2017). Arang aktif adalah material yang berbentuk butiran atau bubuk yang berasal dari material yang mengandung karbon misalnya tulang, kayu lunak, sekam, tongkol jagung, tempurung kelapa, sabut kelapa, ampas penggilingan tebu, ampas pembuatan kertas, serbuk gergaji, kayu keras, batu bara dan sebagainya (Indah & Hendrawani, 2017). Karbon aktif adalah karbon yang dimurnikan, yaitu konfigurasi atom karbonnya dibebaskan dari ikatan dengan unsur lain serta pori-porinya dibebaskan dari unsur lain atau kotoran, sehingga permukaan karbon atau pusat aktif menjadi bersih dan lebih luas (Oko dkk., 2020, Rahmi dkk., 2021, Afza dkk., 2021). Karbon aktif yang diaktivasi dan dimodifikasi dengan TiO₂ dapat memperluas luas permukaan sehingga dapat meningkatkan kemampuan untuk mengadsorpsi adsorbat karena pori tersebut ialah celah yang memperluas permukaan arang aktif karena jika arang aktif memiliki luas permukaan besar akan memberikan bidang kontak yang lebih besar antara adsorben dan adsorbatnya (Wijaya dkk., 2022).

Salah satu bahan yang dapat menjadi bahan arang aktif adalah serbuk gergaji. Limbah hasil pemotongan kayu berupa serbuk gergaji kayu banyak dijumpai pada industri mebel. Limbah tersebut belum banyak dimanfaatkan secara optimal sehingga jika dibuang terus menerus dapat mengganggu keseimbangan lingkungan. Serbuk gergaji kayu merupakan limbah yang ketersediaannya melimpah, mudah diperoleh, dan murah. Limbah penggergajian yang belum dimanfaatkan biasanya dibuang atau dibakar. Sebagian kecil limbah penggergajian digunakan sebagai pupuk kompos atau media saphi.

Adsorben arang aktif dari serbuk gergaji kayu ulin dapat mengurangi kadar asam lemak (Wijayanti dkk., 2012). Kadar asam lemak bebas pada minyak setelah adsorpsi dengan menggunakan arang aktif dari serbuk gergaji kayu ulin telah memenuhi persyaratan SNI. Namun, Menurut minyak jelantah yang dimurnikan dengan adsorben arang aktif gergaji kayu ulin memiliki kadar asam lemak 0,5576% masih di atas batas yang diperbolehkan menurut SNI yaitu 0,3% (Oko dkk., 2020). Arang aktif

serbuk gergaji kayu jati dapat dijadikan sebagai adsorben pada pemurnian minyak jelantah dengan persentase penurunan sebesar 52% dengan nilai kadar asam lemak bebas 0,29% (Nusratullah & Amina, 2020).

Oleh karena itu perlu dilakukan penelitian penurunan kadar asam lemak bebas pada minyak jelantah menggunakan karbon aktif serbuk gergaji kayu jati didoping TiO₂ yang bermanfaat agar limbah minyak jelantah ini dapat bermanfaat dan tidak merugikan bagi kesehatan manusia dan lingkungan.

II. METODE

2.1 Pembuatan Karbon Aktif

Serbuk gergaji kayu jati dibersihkan dari pengotor, lalu dikeringkan di bawah sinar matahari selama 1 jam. Proses pembuatan arang dilakukan dengan memasukkan serbuk gergaji sebanyak 3 kg ke dalam oven, lalu oven dinyalakan selama 2 jam. Arang dikeluarkan dari oven, kemudian dihaluskan menggunakan lumpang dan alu, lalu arang diayak menggunakan ayakan 70 mesh. Arang disimpan di dalam jar kaca ukuran 100 mL. Kemudian karbon serbuk gergaji yang telah terbentuk dilanjutkan dengan proses aktivasi. Aktivasi arang diawali dengan menimbang 50 gram arang lalu memasukkan ke dalam Erlenmeyer 1000 mL, kemudian menambahkan 250 mL larutan ZnCl₂ 10%. Selanjutnya diaktivasi dengan cara dipanaskan pada suhu 400 °C menggunakan *hot plate* sambil diaduk menggunakan *magnetic stirrer* selama 1 jam (Hagemann dkk., 2018). Setelah itu, arang aktif dicuci dengan aquades sampai pH netral menggunakan pH meter. Selanjutnya arang aktif dikeringkan dalam oven pada suhu 150 °C selama 3 jam kemudian disimpan di dalam wadah tertutup (Nusratullah & Amina, 2020).

2.2 Pengujian Kadar Air dan Kadar Abu Karbon Aktif

Karbon aktif ditimbang dengan teliti sebanyak 1 gram di dalam cawan porselin yang telah diketahui beratnya. Kemudian dikeringkan dalam oven pada temperatur 105 °C selama kurang lebih 3 jam. Setelah itu didinginkan dalam desikator dan ditimbang. Perlakuan yang sama diulangi sampai diperoleh berat konstan. Kadar air dapat ditentukan dengan rumus berikut.

$$Kadar\ Air = \frac{B-F}{B-G} \times 100\% \quad (1)$$

dimana, B adalah Massa cawan karbon mula-mula (gram), F adalah Massa cawan karbon yang telah dikeringkan (gram), G adalah Massa cawan (gram) (Nusratullah & Amina, 2020).

Karbon aktif ditimbang dengan teliti sebanyak 1 gram dalam cawan yang telah diketahui beratnya. Kemudian karbon aktif diabukan dalam tanur pada temperatur 700 °C selama 1 jam. Setelah itu didinginkan dalam desikator dan menimbang. Perlakuan yang sama diulangi sampai diperoleh bobot yang tetap. Kadar abu dapat ditentukan dengan rumus berikut,

$$Kadar\ Abu = \frac{F-G}{B-G} \times 100\% \quad (2)$$

dimana, B adalah massa cawan karbon mula-mula (gram), F adalah massa cawan dengan abu (gram), G adalah massa cawan (gram) (Nusratullah & Amina, 2020).

2.3 Karakterisasi Sampel Sintesis Karbon Aktif doping TiO₂

Karbon aktif dicampurkan dengan TiO₂ secara padat-padat dengan perbandingan TiO₂: karbon aktif yaitu 3:100 (0,3 gram TiO₂ dengan 10 gram karbon aktif), 5:100 (0,5 gram TiO₂ dengan 10 gram karbon aktif), 7:100 (0,7 gram TiO₂ dengan 10 gram karbon aktif), dan 9:100 (0,9 gram TiO₂ dengan 10 gram karbon aktif). Kemudian, campuran diaduk sampai homogen dan dipanaskan dalam tanur pada suhu 500°C selama 5 jam. Hasil sintesis disebut dengan adsorben (Suarsa dkk., 2022).

2.4 Penurunan Kadar Asam Lemak Bebas Minyak Jelantah

Sebanyak 50 mL minyak jelantah dimasukkan kedalam gelas kimia 250 mL, lalu ditambahkan adsorben (TiO₂ : Karbon Aktif) sebanyak 5 gram. Kemudian dipanaskan di atas *hot plate* sambil diaduk menggunakan *magnetic stirrer*, suhu dijaga pada rentang 120-130 °C dengan waktu kontak 60 menit. Setelah itu minyak segera dipisahkan menggunakan kertas saring merk Whatman No. 42.

2.5 Pengujian Kadar Asam Lemak Bebas Minyak Jelantah

Sebanyak 5 gram minyak jelantah dimasukkan ke dalam Erlenmeyer 125 mL, lalu dilarutkan dalam 25 mL etanol 96% dan dipanaskan pada suhu 75°C selama 10 menit kemudian dinginkan,

selanjutnya ditambahkan indikator PP sebanyak 3 tetes. Sampel diaduk selama 30 detik kemudian dititrasi dengan larutan NaOH 0,096 N. Titrasi dihentikan jika larutan titrat berubah warna menjadi warna merah muda yang bertahan tidak kurang dari 10 detik. Perlakuan ini dilakukan sebanyak 2 kali (Sulistiyowati & Aajilaini, 2017). Kadar asam lemak bebas dapat ditentukan dengan rumus berikut,

$$\text{Kadar Asam Lemak Bebas} = \frac{V \cdot N \cdot A}{m \times 1000} \times 100\% \quad (3)$$

dimana, V adalah Volume NaOH yang digunakan untuk titrasi (mL), N adalah Normalitas NaOH, A adalah Berat molekul asam laurat, m adalah Berat sampel (g) (Nusratullah & Amina, 2020).

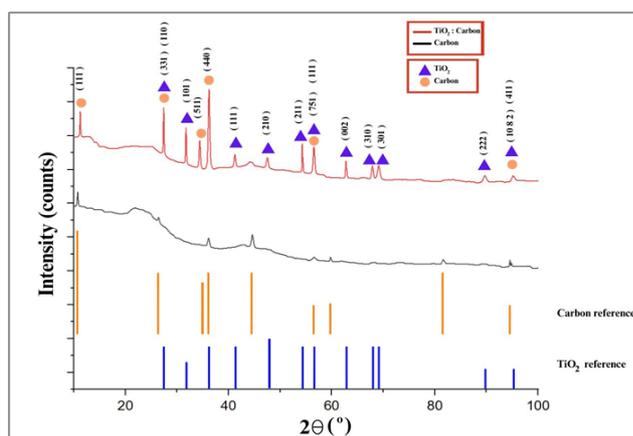
III. HASIL DAN DISKUSI

3.1 Analisis Kadar Air dan Kadar Abu Karbon Aktif

Kadar air rata-rata karbon aktif yang diperoleh adalah $3,60 \pm 0,26$ %. Berdasarkan hasil yang diperoleh, kadar air karbon aktif serbuk gergaji kayu jati relatif rendah dan memenuhi syarat karbon aktif yang baik menurut Standar Industri Indonesia (SII No. 0258-79), syarat kadar air yang baik adalah maksimal 15%. Pada penelitian sebelumnya, didapatkan kadar air pada karbon aktif dari serbuk gergaji kayu jati dengan persentase kadar air sebesar 3,70% (Nusratullah & Amina, 2020). Adanya perbedaan ini disebabkan oleh suhu yang digunakan pada pembuatan karbon aktif saat pengeringan berbeda. Pada penelitian ini digunakan suhu 150 °C. Sedangkan pada penelitian yang diacu menggunakan suhu 105 °C (Nusratullah & Amina, 2020). Sedangkan untuk kadar abu pada karbon aktif yang diperoleh adalah $1,95 \pm 0,11$ %. Berdasarkan hasil yang diperoleh, kadar abu karbon aktif serbuk gergaji kayu jati rendah dan sesuai dengan syarat karbon aktif yang baik menurut Standar Industri Indonesia (SII No. 0258-79), dimana syarat kadar abu yang baik adalah maksimal 10%. Kadar abu yang didapatkan memiliki nilai yang sama pada penelitian sebelumnya dimana didapatkan kadar abu pada karbon aktif dari serbuk gergaji kayu jati dengan persentase kadar abu sebesar 1,95% (Nusratullah & Amina, 2020).

3.2 Analisis Uji XRD Karbon Aktif doping TiO₂

Pola difraksi partikel karbon dibandingkan dengan pola difraksi standar yang ada pada data *International Center for Diffraction Database (ICDD)*. Sampel hasil karakterisasi XRD yang akan dianalisis adalah karbon aktif dan TiO₂ : Karbon aktif (9:100). Pola difraktogram XRD sampel XRD yang akan dianalisis adalah karbon aktif dan TiO₂ : Karbon aktif (9:100) ditunjukkan pada Gambar 1.



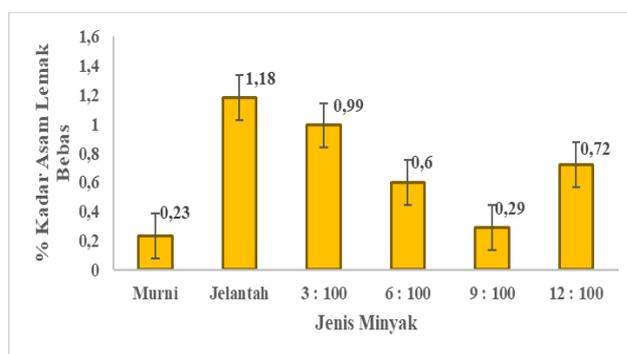
Gambar 1 Hasil Uji XRD pada karbon aktif dan karbon aktif doping TiO₂

Berdasarkan Gambar 1 menunjukkan posisi-posisi sudut 2θ yang terdapat kristal karbon dengan kode 01-081-2220, dimana pada posisi sudut $10,81^\circ$ memiliki intensitas 100%, yang berarti bahwa kristal karbon terbentuk pada sudut tersebut. Berdasarkan hal tersebut maka kristal karbon aktif yang terbentuk di dalam karbon aktif serbuk gergaji kayu jati berbentuk seperti kubik sesuai pada kode 01-081-2220, dimana karbon aktif dari serbuk gergaji kayu jati berada pada posisi sudut $10,72^\circ$. Ukuran kristal pada karbon aktif dari serbuk gergaji kayu pada penelitian ini adalah 38,9 nm, dengan intensitas maksimum didapatkan FWHM sebesar 0.2047.

Uji XRD pada sampel TiO₂: Karbon aktif berdasarkan Gambar 1 pola XRD karbon doping TiO₂ memiliki puncak tertinggi pada sudut $2\theta = 36,1853$. Puncak-puncak hasil difraksi lainnya berada pada sudut $2\theta = 27,4063$; $54,2895$; $56,5081$; $69,0572$; $89,6100$. Ukuran kristal pada karbon aktif dari serbuk gergaji kayu doping TiO₂ pada penelitian ini adalah $27,2$ nm, dengan intensitas maksimum didapatkan FWHM sebesar $0,307$.

3.3 Analisis Kadar Asam Lemak Bebas pada Minyak

Bilangan asam adalah ukuran dari jumlah asam lemak bebas, serta dihitung berdasarkan berat molekul dari asam lemak atau campuran asam lemak. Semakin tinggi kadar asam lemak bebas pada minyak menunjukkan bahwa semakin menurunnya kualitas minyak goreng. Hal ini dikarenakan minyak mengalami reaksi hidrolisis yang mengakibatkan kerusakan oleh adanya kandungan air dan menyebabkan terbentuknya asam lemak bebas dan gliserol (Hidayati dkk., 2016). Data hasil penelitian kadar asam lemak bebas disajikan pada Gambar 2.

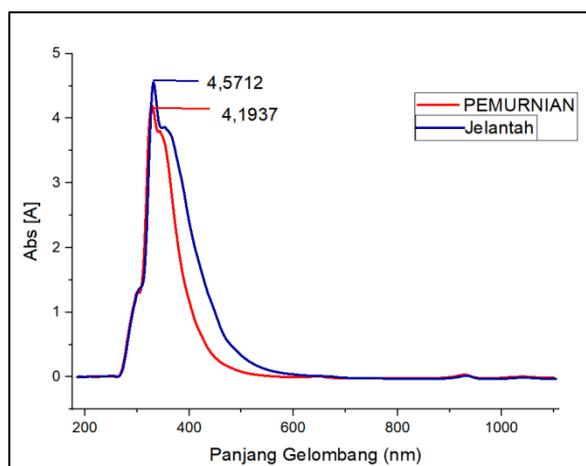


Gambar 2 Grafik nilai kadar asam lemak bebas pada minyak murni, minyak jelantah dan minyak pemurnian.

Gambar 2 menunjukkan bahwa minyak murni memiliki kadar asam lemak bebas sebesar $0,23 \pm 0,00001$ %, minyak jelantah memiliki kadar asam lemak bebas rata-rata sebesar $1,18 \pm 0,046$ % dan minyak hasil pemurnian dengan dengan adsorben TiO₂ doping karbon aktif mengalami penurunan kadar asam lemak bebas. Berdasarkan hasil pengukuran kadar asam lemak bebas pada minyak pemurnian, minyak hasil pemurnian yang dengan perbandingan massa adsorben 9: 100 (0,9 gram TiO₂ dengan 10 gram arang) mengalami penurunan dengan kadar asam lemak bebas yaitu $0,29 \pm 0,023$ % dan minyak hasil adsorpsi menggunakan adsorben karbon aktif doping TiO₂ telah memenuhi ketentuan Standar Nasional Indonesia (SNI) dengan nilai maksimal 0,30%. Penggunaan adsorben dengan perbandingan massa 12:100 (1,2 gram TiO₂ dengan 10 gram arang) kadar asam lemak bebas pada minyak hasil pemurnian lebih tinggi dibandingkan dengan penggunaan adsorben 9:100. Hal ini kemungkinan terjadi karena ketika kandungan TiO₂ dalam karbon aktif menjadi terlalu tinggi, partikel-partikel TiO₂ dapat menutupi atau menghalangi situs-situs adsorpsi yang ada di permukaan karbon aktif. Ini mengurangi jumlah tempat yang tersedia untuk molekul target menempel pada karbon aktif (Jannah, 2019). Pada penelitian lain (Zulkifli dkk., 2018), penurunan asam lemak bebas terbaik menggunakan adsorben arang aktif dari pisang kepok didapatkan pada waktu kontak 6 jam didapatkan nilai kadar asam lemak bebas sebesar 0,65% yang artinya belum memenuhi standar SNI. Pada penelitian tersebut didapatkan bahwa semakin lama waktu penyerapan lemak bebas, penurunan kadar asam lemak bebas lebih besar. Kadar asam lemak bebas dapat menurun jika waktu absorpsi semakin lama hingga mencapai waktu optimum maka adsorben sudah tidak dapat diisi lagi oleh adsorbat sehingga efisiensi penyerapan akan mengalami penurunan dan mengakibatkan kadar asam lemak bebas cenderung konstan (Suarsa dkk., 2022).

3.4 Analisis Uji UV-vis pada Minyak

Lemak atau minyak mengandung zat-zat warna yang dapat menyerap spektrum cahaya. Warna ini menentukan mutu minyak dan lemak. Untuk penentuan sifat-sifat ini digunakan spektrofotometer misalnya spektroskop emisi, spektroskop fluoresensi, atau spektroskop adsorpsi. Kejernihan yang tinggi pada minyak menunjukkan bahwa pengotor-pengotor yang terdapat pada minyak tersebut semakin kecil. Warna minyak semakin gelap diperlihatkan dengan nilai absorbansi yang tinggi. Data hasil penentuan kejernihan atau warna minyak menggunakan spektrofotometer UV-vis disajikan pada Gambar 3.



Gambar 3. Grafik absorbansi menggunakan spektrofotometer UV-Vis pada minyak jelantah dan minyak pemurnian dengan adsorben TiO₂ : Karbon aktif (9 : 100).

Berdasarkan Gambar 3 menunjukkan bahwa minyak yang diadsorpsi dengan adsorben TiO₂ : Karbon aktif (9 : 100) lebih rendah nilai absorbansinya yaitu 4,1937 A dibandingkan dengan nilai absorbansi dari minyak jelantah yaitu 4,5712 A. Pita absorbansi pada sampel minyak jelantah lebih lebar dibandingkan dengan sampel minyak hasil pemurnian. Hal ini menunjukkan bahwa minyak yang dimurnikan dengan karbon aktif serbuk gergaji kayu jati doping TiO₂ lebih jernih.

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian, nilai kadar abu dan kadar air pada karbon aktif sudah memenuhi standar SNI. Sintesis karbon aktif dari serbuk gergaji kayu jati doping TiO₂ dengan metode sintesis padatan berhasil dilakukan berdasarkan data pengujian XRD. Perbandingan massa terbaik antara TiO₂ dan karbon aktif adalah sebanyak 9 gram TiO₂ dengan 100 gram karbon aktif. Penggunaan adsorben TiO₂ : Karbon aktif (9 : 100) dapat mengurangi kadar asam lemak bebas pada minyak jelantah dari 1,18% menjadi 0,29%. Nilai absorbansi pada minyak pemurnian 4,1937 A dan pada minyak jelantah 4,5712 A.

DAFTAR PUSTAKA

- Afza, V. Y. Y., Muldarisnur, M. & Yetri, Y. (2021). Analisis Pengaruh Konsentrasi Elektrolit NaCl terhadap Karakteristik Karbon Aktif dari Kulit Buah Kakao. *Jurnal Fisika Unand*, 10 (4), 486-492. <https://doi.org/10.25077/jfu.10.4.486-492.2021>
- Anggini, A. & Muldarisnur, M. (2021). Sintesis Nanokomposit TiO₂-Grafit untuk Degradasi Asap Rokok. *Jurnal Fisika Unand*, 10 (3), 281-287. <https://doi.org/10.25077/jfu.10.3.281-287.2021>
- Hagemann, N., Spokas, K., Schmidt, H.-P., Kägi, R., Böhrler, M. A. & Bucheli, T. D. (2018). Activated Carbon, Biochar and Charcoal: Linkages and Synergies across Pyrogenic Carbon's ABCs. *Water*, 10 (2), 182. <https://doi.org/10.3390/w10020182>
- Hidayati, F. C., Masturi, M. & Yulianti, I. (2016). Pemurnian Minyak Goreng Bekas Pakai (Jelantah) dengan Menggunakan Arang Bonggol Jagung. *Jurnal Ilmu Pendidikan Fisika*, 1 (2), 67-70. <https://dx.doi.org/10.26737/jipf.v1i2.67>
- Indah, D. R. & Hendrawani, H. (2017). Upaya Menurunkan Kadar Ion Logam Besi Pada Air Sumur Dengan Memanfaatkan Arang Ampas Tebu. *Hydrogen: Jurnal Kependidikan Kimia*, 5 (2). <https://doi.org/10.33394/hjkk.v5i2.1590>
- Jannah, S. N. (2019). Sintesis dan karakterisasi TiO₂/Karbon aktif menggunakan metode Sol-gel. *Skripsi Jurusan Kimia. Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim.*
- Ketaren, S. (2008). *Minyak dan Lemak Pangan*, Jakarta, Universitas Indonesia Press.
- Nur, R. (2012). Pemurnian Minyak Goreng Bekas Menggunakan Arang Aktif Dari Sabut Kelapa. *Skripsi Jurusan Kimia. Universitas Negeri Papua.*

- Nusratullah & Amina, S. (2020). Arang Aktif Serbuk Gergaji Kayu Jati (*Tectona Grandis* Lf) sebagai Bahan Adsorben pada Pemurnian Minyak Jelantah. *Media Eksakta*, 16 (1), 40–48. <https://dx.doi.org/10.22487/me.v16i1.732>
- Oko, S., Mustafa, M., Kurniawan, A. & Muslimin, N. A. (2020). Pemurnian Minyak Jelantah dengan Metode Adsorpsi Menggunakan Arang Aktif dari Serbuk Gergaji Kayu Ulin (*Eusideroxylon zwageri*). *Jurnal Riset Teknologi Industri*, 14 (2), 124-132. <https://doi.org/10.26578/jrti.v14i2.6067>
- Rahmi, F., Muldarisnur, M. & Yetri, Y. (2021). Variasi Konsentrasi Elektrolit H₂SO₄ untuk Pembuatan Karbon Aktif Kulit Buah Kakao sebagai Elektroda Superkapasitor dengan Aktivator ZnCl₂. *Jurnal Fisika Unand*, 10 (4), 467-472. <https://doi.org/10.25077/jfu.10.4.467-472.2021>
- Sopianti, D. S., Herlina & Saputra, H. T. (2017). Penetapan kadar asam lemak bebas pada minyak goreng. *Jurnal katalisator*, 2 (2), 100–105. <http://doi.org/10.22216/jk.v2i2.2408>
- Suarsa, I. W., Simpen, I. N. & Prayani, M. W. (2022). Adsorpsi Asam Lemak Bebas pada Minyak Jelantah dengan TiO₂/Zeolit Alam. *Jurnal Kimia*, 16 (2), 189-197. <https://doi.org/10.24843/JCHEM.2022.v16.i02.p09>
- Sulistiyowati, R. & Ajilaini, S. A. (2017). Pengaruh penambahan bawang merah (*Allium ascalonicum*) terhadap penurunan bilangan peroksida dalam minyak jelantah. *Pena Medika Jurnal Kesehatan*, 7 (2), 92-102. <https://dx.doi.org/10.31941/pmjk.v7i2.585>
- Wijaya, L. S., Afuza, D. S. & Kurniati, E. (2022). Arang Aktif Serbuk Kayu Jati Menggunakan Aktivator H₃PO₄ Dan Modifikasi TiO₂. *Jurnal Teknik Kimia*, 16 (2), 73-79. https://dx.doi.org/10.33005/jurnal_tekkim.v16i2.3048
- Wijayanti, H., Nora, H. & Amelia, R. (2012). Pemanfaatan arang aktif dari serbuk gergaji kayu ulin untuk meningkatkan kualitas minyak goreng bekas. *Konversi*, 1 (1), 26–32. <http://dx.doi.org/10.20527/k.v1i1.106>
- Wulandari, M., Astuti, A. & Muldarisnur, M. (2018). Sintesis Nanopartikel TiO₂-SiO₂ Berpori Sebagai Fotokatalis untuk Penjernihan Air Limbah Rumah Tangga. *Jurnal Fisika Unand*, 7 (1), 33-38. <https://doi.org/10.25077/jfu.7.1.33-38.2018>
- Zulkifli, Z., Rihayat, T., Suryani, S., Facraniah, F., Habibah, U., Audina, N., Fauzi, T., Nurhanifa, N., Zaimahwati, Z. & Rosalina, R. (2018). Purification process of jelantah oil using active chorcoal kepok's banana. *AIP Conference Proceedings*, 2049 (1), 020022.