

Pengaruh Waktu Iradiasi Ultrasonik dengan Aktivasi Kalium Hidroksida terhadap Sifat Fisis Karbon Aktif dari Serbuk Karet *End Life Tire*

Effect of Ultrasonic Irradiation Time with Potassium Hydroxide Activation on the Physical Properties of Activated Carbon from End Life Tire Rubber Powder

Uma Fadzilia Arifin*, Nais Pinta Adetya, Wisnu Pambudi, Latifah Listyalina, Wahyu Ratnaningsih

Teknologi Pengolahan Karet dan Plastik, Politeknik ATK Yogyakarta, Jl. Prof. Dr. Wirdjono Prodjodikoro, Glugo, Panggunharjo, Sewon, Bantul, Yogyakarta, 55188, Indonesia

*Email: umafadzilia@atk.ac.id

Article history:

Diterima : 29 Januari 2024
Direvisi : 22 Mei 2024
Disetujui : 11 September 2024
Mulai online : 28 September 2024

E-ISSN: 2337-4888

How to cite:

Uma Fadzilia Arifin, Nais Pinta Adetya, Wisnu Pambudi, Latifah Listyalina, Wahyu Ratnaningsih (2024) Pengaruh Waktu Iradiasi Ultrasonik dengan Aktivasi Kalium Hidroksida terhadap Sifat Fisis Karbon Aktif dari Serbuk Karet *End Life Tire*. Jurnal Teknik Kimia USU, 13(2), 80-87.

ABSTRAK

Pengolahan serbuk karet *End Life Tire* (ELT) menjadi karbon aktif merupakan alternatif penanganan sampah ban. Salah satu cara untuk meningkatkan sifat fisis seperti karakteristik proksimat, luas permukaan, dan diameter pori pada karbon aktif yaitu melalui aktivasi kimia berbantuan iradiasi ultrasonik. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh waktu iradiasi ultrasonik dengan aktivasi kalium hidroksida (KOH) terhadap kualitas karbon aktif karet ELT. Karbon aktif disintesis dan diaktivasi menggunakan KOH 30% pada berbagai variasi waktu iradiasi ultrasonik yaitu 0 menit, 15 menit, 30 menit, 45 menit, dan 60 menit. Berdasarkan hasil karakterisasi, karbon aktif dengan waktu iradiasi ultrasonik 30 menit merupakan karbon aktif yang memiliki sifat paling unggul. Karakteristik proksimat karbon aktif tersebut memenuhi syarat mutu karbon aktif SNI 06–3730–1995 serta memiliki luas permukaan tertinggi yaitu 401,11 m²/g dan diameter pori 2,1652 nm yang termasuk kategori struktur mesopori sehingga dapat berpotensi untuk diterapkan sebagai adsorben logam berat dari cairan yang tercemar.

Kata kunci: aktivasi KOH, ultrasonik, karbon aktif, sifat fisis, serbuk karet ELT

ABSTRACT

Processing End Life Tire (ELT) rubber powder into activated carbon is an alternative for handling tire waste. One way to improve physical properties such as proximate characteristics, surface area and pore diameter of activated carbon is through chemical activation assisted by ultrasonic irradiation. This research aims to determine the effect of ultrasonic irradiation time with potassium hydroxide (KOH) activation on the quality of ELT rubber activated carbon. Activated carbon was synthesized and activated using 30% KOH at various ultrasonic irradiation times, namely 0 minutes, 15 minutes, 30 minutes, 45 minutes and 60 minutes. Based on the characterization results, activated carbon with an ultrasonic irradiation time of 30 minutes is the active carbon that has the most superior properties. The proximate characteristics of activated carbon meet the active carbon quality requirements of SNI 06–3730–1995 and have the highest surface area, namely 401.11 m²/g and pore diameter of 2.1652 nm, which is included in the mesoporous structure category so that it has the potential to be applied as an adsorbent for heavy metals from contaminated fluid.

Keyword: KOH activation, ultrasonic, activated carbon, physical properties, ELT rubber powder



This work is licensed under a Creative Commons

Attribution-ShareAlike 4.0 International.

<https://doi.org/10.32734/jtk.v13i2.15549>

1. Pendahuluan

Peningkatan secara masif penggunaan jumlah moda transportasi di Indonesia dari tahun ke tahun menyebabkan kenaikan jumlah produksi dan penggunaan ban karet. Selain berdampak positif untuk pertumbuhan industri ban, namun hal ini juga berpotensi menghasilkan sampah ban karet. Ada dua jenis sampah karet ban yaitu karet dari *end use tire* (ban habis masa pakai) dan *end life tire*. *End life tire* (ELT) merupakan ban habis masa umur atau ban mati yang berarti ban yang tidak dapat digunakan lagi atau divulkanisir. Saat ini, diperkirakan sekitar 4 miliar ELT berada di tempat pembuangan akhir dan penimbunan di seluruh dunia dan diprediksi akan terus meningkat hingga 5 miliar pada tahun 2030 [1].

Sampah karet ELT merupakan sampah padat dan termasuk kategori limbah tidak berbahaya [2]. Sampah tersebut bersifat tidak dapat terdegradasi secara bioorganik sehingga jika tidak ditangani dengan baik dapat menyebabkan masalah lingkungan dan kesehatan seperti polusi tanah karena kandungan berbagai bahan kimia, polusi udara karena terjadinya pelepasan gas metana, tempat sarang nyamuk atau serangga lain, dan memakan banyak tempat penimbunan karena ukurannya yang relatif besar [3]. Sejauh ini telah banyak berkembang industri pengolahan sampah ban karet yang memproses ban bekas menjadi ban vulkanisir, karet daur ulang, dan serbuk karet [4]. Serbuk ban karet secara luas telah dimanfaatkan dalam bidang konstruksi seperti campuran beton dan aspal. Beberapa diantaranya diproses menjadi material penyimpan energi, karbon aktif sebagai adsorben pada limbah perairan dan dipirolisis untuk menghasilkan bahan bakar [2].

Material utama pada serbuk ELT yaitu polimer hidrokarbon karet. Karet yang paling sering digunakan pada pembuatan ban yaitu karet alam (NR), karet polibutadiena (PBR), dan karet stirena butadiena (SBR) [5]. Selain itu, pengisi *carbon black* serta sejumlah kecil zat aditif lain seperti akselerator dan pemvulkanisasi juga ditambahkan dalam proses kompon ban [6]. Oleh karena itu, ban dapat digunakan sebagai sumber alternatif produksi karbon aktif karena keberadaan karbon yang relatif besar dalam ban tersebut [5]. Pengolahan serbuk karet dari ELT menjadi karbon aktif dapat menjadi salah satu solusi penanganan sampah ELT dan menaikkan nilai dari sampah ELT tersebut.

Karbon aktif merupakan padatan berpori dengan struktur amorf dan luas permukaan yang relatif besar [7]. Karbon aktif telah banyak digunakan sebagai adsorben zat warna atau logam berat, zat purifikasi, katalis, dan sebagainya. Karbon aktif umumnya diproduksi melalui proses pirolisis dan banyak digunakan dalam skala industri sebagai adsorben terutama untuk pemurnian atau pemisahan cairan dan gas. Karbon aktif dapat bertindak sebagai adsorben karena memiliki luas permukaan yang besar, porositas tertentu, dan memiliki ikatan kimia yang unik. Struktur berpori karbon aktif dapat membentuk jaringan makropori, mesopori, atau mikropori yang saling berhubungan sehingga dapat meningkatkan kapasitas penyerapan terhadap senyawa organik maupun anorganik [8]. Hal tersebut dapat menjadi salah satu alternatif untuk menangani masalah lingkungan terutama pencemaran di perairan [9]. Oleh karena itu, karbon aktif menjadi subjek studi yang selalu menarik untuk diteliti.

Proses produksi karbon aktif meliputi proses karbonisasi dan aktivasi. Proses karbonisasi berguna untuk pembentukan karbon yang berpori menggunakan temperatur tinggi. Pori pada karbon aktif terjadi karena terjadinya penguapan beberapa gas non karbon seperti hidrogen, nitrogen, oksigen, dan sulfur [10], sedangkan proses aktivasi bertujuan untuk menghilangkan zat sisa dari permukaan pori karbon sehingga luas permukaannya semakin besar.

Proses aktivasi karbon aktif terbagi atas dua jenis, yaitu aktivasi kimia dan fisika. Proses aktivasi kimia melibatkan perendaman karbon menggunakan zat kimia tertentu. Aktivator tersebut akan masuk ke dalam kisi karbon heksagonal untuk melepaskan beberapa zat kontaminan sehingga dapat memperlebar permukaan pori [11]. Proses aktivasi fisik dilakukan dengan cara karbonisasi prekursor dalam keadaan *inert* kemudian karbon yang dihasilkan diaktivasi secara fisika dengan mengalirkan uap atau udara dengan suhu tinggi (800 °C - 1000 °C) dengan waktu yang relatif lama [10]. Salah satu cara yang dapat meningkatkan luas permukaan karbon dengan waktu yang relatif singkat yaitu metode sonikasi. Metode sonikasi merupakan metode yang menggunakan bantuan gelombang ultrasonik untuk modifikasi karakteristik material [12]. Bantuan gelombang ultrasonik pada metode sonikasi dapat menghasilkan retakan mikro pada permukaan karbon melalui efek kavitasi [13]. Selain itu, retakan mikro dari energi gelombang ultrasonik dapat memodifikasi permukaan pori karbon aktif sehingga dapat meningkatkan kapasitas daya serap karbon aktif.

Meskipun penelitian terkait produksi karbon aktif dari ban bekas telah banyak dilakukan, namun belum ada yang mempelajari penggunaan aktivasi kimia berbantuan iradiasi ultrasonik pada proses sintesis karbon aktif dari karet ban bekas. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh waktu iradiasi ultrasonik dengan aktivasi kalium hidroksida (KOH) pada proses sintesis karbon aktif dari sampah karet ELT terhadap jumlah dan karakteristik karbon aktif yang dihasilkan.

2. Metode

Bahan dan Peralatan

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini yaitu serbuk karet *End Life Tire* (ELT) dari Workshop Karet Politeknik ATK Yogyakarta, larutan kalium hidroksida (KOH) 30 % (Merck), larutan asam klorida (HCl) p.a 0,5 N (Merck), dan *aquadest*. Penelitian ini juga menggunakan alat dan instrumen penunjang seperti *furnace*, *magnetic stirrer*, sonikator (*ultrasonic bath*) S 60 H, *moisture analyzer* Sartorius MA45 dan Brunauer Emmett and Teller (BET) dan *Surface Area & Pore Size Analyzer*, Quantachrome Nova 4200e, USA.

Sintesis Karbon Aktif dari Serbuk Karet ELT

Sintesis karbon aktif dilakukan melalui dua proses yaitu proses karbonisasi melalui pirolisis serta aktivasi kimia berbantuan ultrasonik. Sampel diayak dengan ukuran 100 mesh agar memiliki ukuran yang seragam kemudian dilakukan karbonisasi melalui pirolisis pada suhu 600 °C selama 4 jam. Setelah didinginkan, produk hasil karbonisasi dilakukan aktivasi menggunakan larutan KOH 30% sebagai *activating reagent*. Karbon ELT tersebut dimasukkan ke dalam larutan KOH dengan perbandingan larutan KOH dan sampel karbon yaitu 4:1 (v/m) pada erlenmeyer sekaligus dilakukan iradiasi ultrasonik menggunakan sonikator dengan bantuan pengadukan *magnetic stirrer* pada suhu 60 °C. Iradiasi ultrasonik menggunakan pengaturan parameter frekuensi 42 kHz, daya 35 watt dan waktu radiasi divariasikan pada 0 menit, 15 menit, 30 menit, 45 menit, dan 60 menit. Sampel disaring dan dilakukan pemanasan dengan *furnace* pada suhu 600 °C selama 30 menit. Sampel kemudian dicuci menggunakan larutan HCl 0,5 N dengan suhu 80 °C selama 30 menit, serta dilanjutkan dengan penyaringan. Hasil pencucian kemudian dicuci kembali dengan *aquadest* pada suhu 85 °C. Pencucian dilakukan beberapa kali sampai pH campuran air-karbon di atas 6. Produk hasil pencucian dikeringkan menggunakan oven pada suhu 100 °C selama 60 menit untuk memperoleh produk karbon aktif akhir [10].

Karakterisasi Karbon Aktif dari Serbuk Karet ELT

Karbon aktif dari serbuk karet ELT dilakukan karakterisasi proksimat seperti pengujian kadar air, kadar abu, kadar zat menguap, dan kadar atom karbon terikat berdasarkan syarat mutu SNI 06–3730–1995. Pengujian karakteristik karbon aktif serbuk karet ELT dirinci secara detail sebagai berikut.

- Penentuan kadar air dilakukan menggunakan Moisture Analyzer Sartorius MA45 menggunakan 4 g sampel dengan 3 kali pengulangan.
- Penentuan kadar abu dilakukan dengan cara mengabukan 1 g sampel dalam cawan porselin pada *furnace* dengan suhu 650 °C selama 4 jam. Cawan porselin sebelumnya dikeringkan menggunakan oven pada suhu 100 °C selama 15 menit, didinginkan dalam desikator selama 20 menit dan ditimbang untuk mengetahui masa cawan kosong (m_c). Penentuan kadar abu dapat dihitung berdasarkan Persamaan 1, dengan m_c adalah massa cawan kosong, m_0 adalah massa sampel dan cawan sebelum pengabuan, dan m_t adalah massa sampel dan cawan setelah pengabuan [14].

$$\text{Kadar Abu}(\%) = \frac{m_t - m_c}{m_0 - m_c} \times 100\% \quad (1)$$

- Penentuan kadar zat menguap dilakukan dengan memanaskan sampel karbon aktif dalam cawan *crucible* berpenutup pada *furnace* pada suhu 900 °C selama 15 menit, didinginkan dalam desikator selama 30 menit dan ditimbang untuk mengetahui masa sampel setelah pemanasan. Cawan *crucible* berpenutup sebelumnya telah dikeringkan menggunakan oven dengan suhu 100 °C selama 15 menit, didinginkan dalam desikator selama 20 menit dan ditimbang untuk mengetahui masa cawan kosong (m_c). Penentuan kadar zat menguap dapat ditentukan menggunakan Persamaan 2 dan 3, dengan m_c adalah massa cawan kosong, m_0 adalah massa cawan dan sampel sebelum diuapkan, m_t adalah massa cawan dan sampel setelah diuapkan, dan MC adalah kadar air dalam sampel [14].

$$\% \text{ massa hilang} = \frac{m_0 - m_t}{m_0 - m_c} \times 100\% \quad (2)$$

$$\text{Kadar zat menguap} (\%) = \% \text{ massa hilang} - \% \text{ MC} \quad (3)$$

- Kadar karbon terikat dapat ditentukan dengan cara menghitung selisih 100% dengan kadar air, kadar abu dan kadar zat menguap seperti pada Persamaan 4 [14].

$$\text{Kadar karbon terikat} (\%) = 100\% - (\% \text{ MC} + \% \text{ Kadar abu} + \% \text{ Kadar zat menguap}) \quad (4)$$

- e. Luas Permukaan dan Porositas dianalisis menggunakan *Quantachrome Quadrasorb-Evo Surface Area & Pore Size Analyzer* dengan metode Brunauer Emmett and Teller (BET) melalui perhitungan jumlah gas teradsorpsi yang sesuai dengan lapisan monomolekul pada permukaan sampel [7].

3. Hasil

Sintesis Karbon Aktif dari Serbuk Karet *End Life Tire* (ELT) Berbantuan Iradiasi Ultrasonik

Sintesis Karbon Aktif dari Serbuk Karet *End Life Tire* (ELT) diawali dengan proses karbonisasi melalui proses pirolisis hingga terbentuk *hydrochar* dalam bentuk karbon. Berdasarkan hasil pirolisis 2.000 g serbuk karet ELT diperoleh karbon sebesar 1.456 g sehingga rendemen karbon tersebut yaitu 72,8%. Hal tersebut selaras dengan penelitian Tabbakh & Barhoum, (2019) yang menginformasikan 67% - 76 % komposisi dari ban merupakan senyawa karbon [5]. Beberapa senyawa menghilang selama proses karbonisasi karena pemanasan seperti zat volatil, tar, dan senyawa organik lain [13].

Karbon yang dihasilkan dilakukan proses aktivasi yang bertujuan untuk meningkatkan diameter pori atau membentuk pori baru [15]. Aktivasi dapat dilakukan dengan proses fisika atau kimia. Aktivasi kimia memanfaatkan bahan kimia sebagai *activator agents* seperti asam, basa, atau garam. Penelitian ini menggunakan larutan KOH 30% sebagai agen aktivasi karbon dengan bantuan iradiasi ultrasonik dalam waktu iradiasi tertentu. Pengaruh waktu iradiasi ultrasonik selama proses aktivasi karbon seruk ELT terhadap jumlah hasil karbon aktif yang diperoleh tersaji pada Tabel 1.

Tabel 1. Pengaruh waktu iradiasi ultrasonik terhadap *yield* karbon aktif

Waktu iradiasi (menit)	Massa karbon sebelum aktivasi (g)	Massa karbon setelah aktivasi (g)	<i>Yield</i> karbon aktif (%)
0	20,0051	18,7071	93,51
15	20,0178	18,7891	93,86
30	20,0111	18,6548	93,22
45	20,0097	18,6001	92,96
60	20,0073	18,7521	93,73

Tabel 1 memberikan informasi bahwa *yield* karbon aktif yang dihasilkan pada berbagai variasi waktu iradiasi tidak menunjukkan perbedaan yang signifikan. *Yield* karbon aktif tersebut menunjukkan nilai yang relatif tinggi. Besarnya *yield* atau rendemen karbon aktif dipengaruhi oleh material bahan yang digunakan [13]. Hal ini menunjukkan bahwa aktivasi kimia dengan KOH berbantuan iradiasi ultrasonik tidak berdampak signifikan terhadap jumlah karbon aktif yang dihasilkan. Persentase kehilangan massa setelah aktivasi dimungkinkan karena proses aktivasi yang melalui beberapa kali penyaringan dan pencucian sehingga banyak material karbon aktif yang hilang selama proses aktivasi berlangsung [14].

Karakterisasi Karbon Aktif dari Serbuk Karet *End Life Tire* (ELT) Berbantuan Iradiasi Ultrasonik

a. Karakteristik Proksimat

Karbon aktif yang diperoleh dilakukan analisis proksimat untuk menentukan kualitas karbon aktif yang diperoleh. Selain itu, berguna untuk mengetahui pengaruh variasi waktu iradiasi ultrasonik terhadap kualitas karbon aktif yang dihasilkan. Hasil analisis proksimat dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Karakteristik proksimat karbon aktif dari serbuk karet ELT dengan variasi waktu iradiasi ultrasonik

Waktu iradiasi (menit)	Kadar air (%)	Kadar abu (%)	Kadar zat menguap (%)	Kadar karbon terikat (%)
0	2,85	7,94	9,74	79,47
15	2,97	5,46	7,98	83,59
30	4,43	4,21	7,73	84,63
45	3,98	5,33	8,05	83,04
60	3,59	6,06	7,25	81,96

Berdasarkan Tabel 2 dapat diketahui bahwa karakteristik proksimat karbon aktif dari serbuk karet ELT yang dilakukan antara lain kadar air, kadar abu, kadar zat menguap, dan kadar karbon terikat. Kadar air menunjukkan banyaknya air yang terkandung dalam karbon aktif tersebut. Karbon aktif bersifat higroskopis

karena memiliki pori sehingga mampu menjerap air jika terjadi kontak langsung. Tabel 2 memberikan informasi bahwa kadar air terendah pada aktivasi tanpa bantuan iradiasi ultrasonik yaitu 2,85%. Kadar air tertinggi diperoleh iradiasi ultrasonik berlangsung selama 30 menit yaitu 4,43% dan nilainya mengalami penurunan kembali. Penurunan kadar air tersebut menunjukkan bahwa waktu iradiasi ultrasonik lebih dari 30 menit, tidak efektif dalam pembentukan pori baru. Namun, nilai kadar air tersebut telah sesuai dengan persyaratan mutu karbon aktif pada SNI 06 – 3730 – 1995. Hasil tersebut sejalan dengan penelitian Alfairuz & Khair, (2021) menyatakan bahwa waktu iradiasi ultrasonik berpengaruh terhadap kadar air pada karbon aktif yang dihasilkan [15]. Penelitian ini dilakukan aktivasi KOH karbon aktif dengan iradiasi ultrasonik dengan variasi waktu iradasi 0 menit, 15 menit, 30 menit, 45 menit, dan 60 menit. Waktu iradiasi yang tepat dapat meningkatkan daya adsorpsi karbon aktif terhadap air (higroskopis) yang disebabkan oleh bertambah banyaknya jumlah pori-pori baru yang terbentuk [15].

Berdasarkan informasi yang tersaji pada Tabel 2, dapat diketahui bahwa kadar abu terendah diperoleh dari hasil aktivasi dengan waktu iradiasi ultrasonik 30 menit yaitu sebesar 4,21%. Kadar abu penting untuk diketahui karena akan memengaruhi kualitas karbon aktif. Kadar abu merupakan jumlah abu yang terkandung dalam karbon aktif. Keberadaan abu dalam karbon aktif dipengaruhi oleh adanya oksida logam yang terbentuk selama pemanasan suhu tinggi. Kadar abu dalam karbon aktif yang melebihi persyaratan mutu karbon aktif pada SNI 06 – 3730 – 1995 yaitu 10 % dapat menyebabkan tersumbatnya pori-pori karbon aktif sehingga akan mempengaruhi kualitas karbon aktif yang dihasilkan. Tabel 2 juga memberikan informasi bahwa terjadi penurunan kadar abu dengan bertambahnya lama waktu iradiasi hingga 30 menit kemudian nilai mengalami kenaikan kembali seiring bertambahnya waktu iradiasi ultrasonik. Hal ini sejalan dengan informasi disampaikan oleh Alfairuz & Khair, (2021) yang menyatakan kadar abu mengalami penurunan karena iradiasi ultrasonik dapat memperlebar ukuran pori-pori sehingga abu dapat terlepas dengan mudah dari pori karbon aktif, dimana kadar abu terendah pada karbon aktif dari limbah batang kelapa sawit yaitu 1,08% pada waktu ultrasonik 30 menit [15].

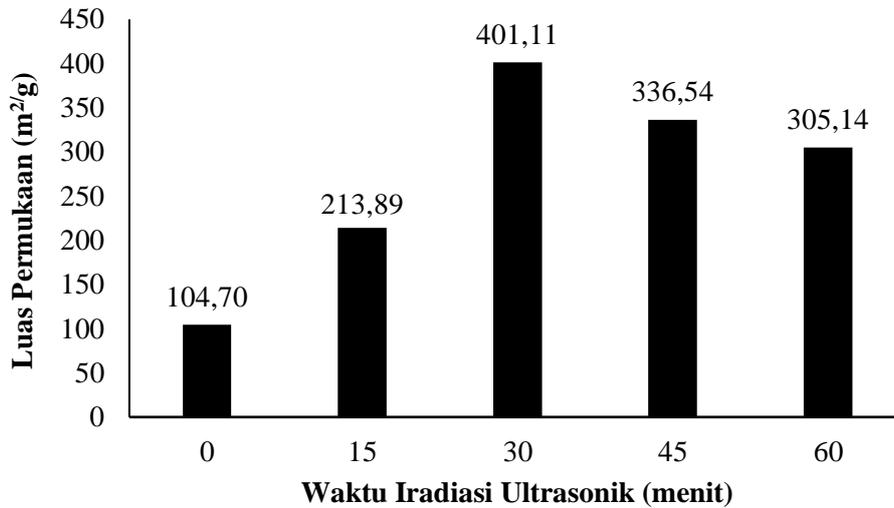
Penentuan kadar zat menguap berguna untuk mengetahui adanya senyawa selain karbon yang belum teruapkan secara sempurna selama pemanasan. Beberapa hal yang berpengaruh terhadap kadar zat menguap yaitu keberadaan zat selain karbon seperti kontaminan yang masih melekat pada bahan baku, suhu dan lamanya waktu pemanasan [16]. Hasil analisis proksimat pada Tabel 2 menginformasikan bahwa kadar zat menguap tertinggi yaitu 9,74% pada aktivasi tanpa iradiasi dan menurun hingga nilai terendah pada aktivasi dengan waktu iradiasi ultrasonik 30 menit yaitu sebesar 7,73%. Namun, nilai tersebut mengalami kenaikan pada 45 menit waktu iradiasi dan turun kembali pada waktu iradiasi 60 menit. Perolehan nilai tersebut menunjukkan adanya ketidakkonsistennya nilai kadar zat menguap pada karbon aktif. Hal ini selaras dengan hasil penelitian Sa'bandi et al., (2021) dan Alfairuz & Khair, (2021) dengan perolehan data nilai kadar zat menguap yang berbeda pada setiap waktu iradiasi ultrasonik [15, 17]. Dengan demikian, dapat diketahui bahwa nilai kadar zat menguap tidak dipengaruhi oleh lamanya waktu iradiasi ultrasonik tetapi berkaitan erat dengan jumlah kontaminan yang berbeda pada setiap sampel karbon aktif. Nilai kadar zat menguap pada penelitian ini dengan variasi waktu iradiasi ultrasonik telah memenuhi nilai melebihi persyaratan mutu karbon aktif pada SNI 06 – 3730 – 1995 yaitu maksimal 25%. Nilai kadar zat menguap semakin rendah menunjukkan semakin baik kualitas karbon aktif.

Selain itu, penentuan nilai kadar karbon terikat sebagai salah satu karakteristik proksimat berfungsi untuk mengetahui kandungan karbon dalam karbon aktif setelah proses karbonisasi dan aktivasi. Tabel 2 menginformasikan kecenderungan tren yang naik pada nilai kadar karbon terikat sebanding dengan lamanya waktu iradiasi ultrasonik, namun nilainya mengalami penurunan setelah menit ke 30. Hal ini berkaitan erat dengan hasil karakteristik proksimat lain dan selaras dengan penelitian Insyirah & Khair (2020) bahwa pori pada karbon aktif berpengaruh terhadap kadar karbon terikat yang dihasilkan karena nilai ini berasal dari nilai akhir setelah dikurangi nilai kadar air, kadar abu dan kadar zat menguap [10]. Oleh karena itu, nilai karbon terikat tertinggi ditunjukkan pada aktivasi dengan waktu iradiasi ultrasonik 30 menit yaitu sebesar 84,63%. Nilai tersebut memenuhi nilai melebihi Persyaratan Mutu Karbon Aktif pada SNI 06 – 3730 – 1995 yaitu minimal 65% untuk kadar karbon terikat. Besarnya nilai kadar karbon terikat menunjukkan kualitas karbon aktif yang dihasilkan. Karbon aktif dengan waktu iradiasi ultrasonik 30 menit memiliki karakteristik proksimat yang unggul dimungkinkan karena waktu terbaik iradiasi ultrasonik yaitu 30 menit.

b. Karakteristik Luas Permukaan dan Pori

Luas permukaan (*surface area*), volume, dan diameter pori merupakan sifat fisik karbon aktif yang memengaruhi kebermanfaatannya. Karbon aktif merupakan salah satu jenis adsorben yang cukup terkenal, mudah digunakan dan paling banyak diaplikasikan. Karbon aktif dapat menjerap gas, cairan dan senyawa-senyawa kimia tertentu tergantung pada besarnya volume pori-pori dan luas permukaannya [16]. Salah satu

cara meningkatkan luas permukaan pori yaitu melalui aktivasi. Penelitian ini melakukan aktivasi pada karbon serbuk karet ELT menggunakan aktivator KOH 30% berbantuan iradiasi ultrasonik untuk mengetahui pengaruh waktu iradiasi terhadap karakteristik luas permukaan dan pori dari karbon aktif yang dihasilkan. Pengaruh waktu iradiasi ultrasonik terhadap luas permukaan karbon aktif setelah dilakukan analisa menggunakan BET dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Pengaruh aktivasi pada waktu iradiasi ultrasonik tertentu terhadap luas permukaan karbon aktif

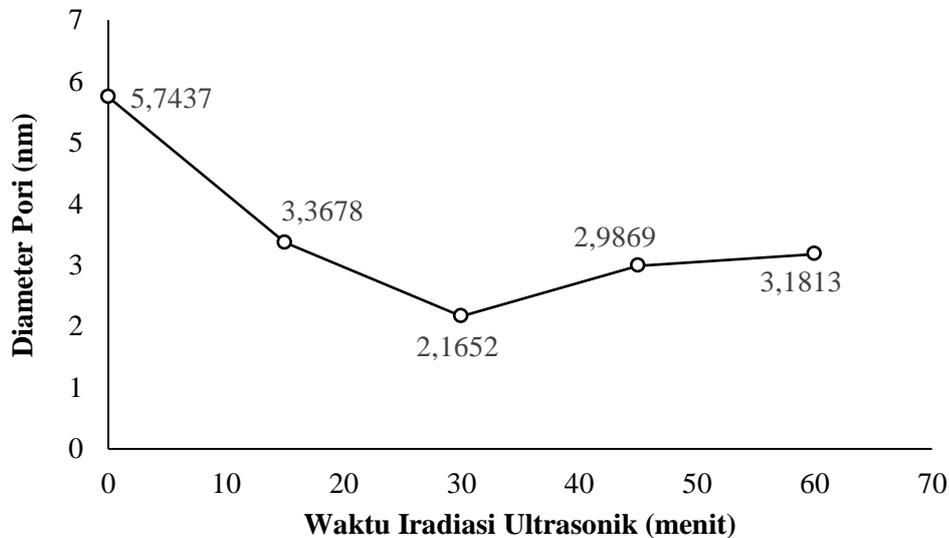
Gambar 1 menunjukkan lamanya waktu iradiasi ultrasonik berpengaruh terhadap besarnya luas permukaan karbon aktif yang ditandai dengan meningkatnya luas permukaan pada waktu iradiasi yang optimal kemudian mengalami penurunan kembali. Pernyataan tersebut diperkuat oleh beberapa penelitian yang menunjukkan bahwa setiap material bahan yang berbeda akan membutuhkan waktu iradiasi ultrasonik yang tepat untuk aktivasi optimal yang berbeda pula [13, 15, 17]. Karbon aktif dengan luas permukaan terbesar sebesar 401,11 m²/g yaitu karbon yang diaktivasi berbantuan iradiasi ultrasonik selama 30 menit. Aktivasi tanpa bantuan iradiasi ultrasonik menghasilkan karbon aktif dengan luas permukaan rendah yaitu 104,76 m²/g. Hal ini memvalidasi hasil penelitian Zhang et al., (2019) yang menyatakan bahwa iradiasi ultrasonik pada proses aktivasi kimia cukup bermanfaat untuk meningkatkan luas permukaan [18]. Semakin besar luas permukaan karbon aktif maka semakin tinggi kapasitas adsorpsinya. Setyoningrum et al., (2018) dalam penelitiannya menyebutkan bahwa luas permukaan karbon dari limbah ban bekas melalui uji BET diperoleh nilai 32,613 m²/g [7]. Berdasarkan hal tersebut dapat diketahui bahwa penggunaan gelombang ultrasonik pada aktivasi karbon menggunakan KOH 30% mampu menghasilkan karbon yang telah teraktivasi yang ditandai dengan meningkatnya luas permukaan karbonnya. Insyirah & Khair (2020) juga mengungkapkan bahwa metode sonikasi dapat memperluas permukaan karbon melalui efek kativasi dengan adanya retakan mikro dan pembersihan pada permukaan karbon sehingga dapat meningkatkan daya adsorpsinya [10]. Retakan mikro terbentuk akibat adanya gelombang ultrasonik masuk ke dalam pori dan menyebabkan gelembung kavitasi menjadi lebih besar dan lebih panjang sehingga mampu memperluas permukaan pori karbon aktif [9].

Selain diperoleh data terkait luas permukaan karbon aktif, analisis menggunakan BET juga memperoleh data terkait volume pori dan diameter pori dari karbon. Pengaruh waktu iradiasi ultrasonik terhadap total volume pori disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3. Pengaruh aktivasi dengan waktu iradiasi ultrasonik tertentu terhadap total volume pori karbon aktif

Waktu iradiasi ultrasonik (menit)	Total volume pori (cm ³ /g)
0	0,0506
15	0,0583
30	0,0632
45	0,0560
60	0,0530

Berdasarkan Tabel 3 dapat diketahui bahwa total volume pori karbon aktif tertinggi pada iradiasi ultrasonik selama 30 menit yaitu sebesar $0,0632 \text{ cm}^3/\text{gram}$. Jika dibandingkan dengan data luas permukaan karbon aktif pada Tabel 2, mengindikasikan bahwa semakin tinggi total volume pori maka semakin tinggi pula luas permukaan karbon aktif sehingga meningkatkan daya adsorpsinya. Hal ini sejalan dengan penelitian Insyirah & Khair (2020) yang menyatakan bahwa gelombang ultrasonik dapat membersihkan permukaan karbon dari kontaminan akibat efek kavitasi sehingga interaksi antara partikel kontaminan dengan dinding pori karbon yang memiliki gaya van der Waals relatif kuat dapat meningkatkan daya absorpsi karbon aktif tersebut [10]. Pengaruh waktu iradiasi ultrasonik terhadap diameter pori karbon aktif disajikan pada Gambar 2.



Gambar 2. Pengaruh aktivasi pada waktu iradiasi ultrasonik tertentu terhadap diameter pori karbon aktif

Karbon aktif merupakan salah satu material yang memiliki pori berukuran nano. Karbon aktif biasanya memiliki struktur pori berupa mikropori, mesopori, dan makropori. Mikropori yang diaktifkan karbon lebih efektif dalam mengadsorpsi polutan dalam bentuk gas. Karbon mesopori efektif untuk cairan. Namun, karbon berpori makro tidak efisien untuk keduanya [16]. Gambar 2 menginformasikan bahwa besarnya ukuran diameter pori yang menunjukkan tren naik kemudian turun kembali karena setiap material bahan (misal ban, tandan sawit, pelepah sawit, batang sawit atau yang lainnya) memiliki waktu aktivasi terbaik untuk menghasilkan karbon aktif dengan sifat terbaik termasuk struktur dan ukuran pori [13, 15, 17]. Bantuan waktu iradiasi ultrasonik 30 menit dalam proses aktivasi kimia pada karbon ELT dapat menghasilkan karbon aktif dengan diameter pori 2,1652 nm. Ukuran diameter tersebut menunjukkan bahwa karbon aktif yang dihasilkan masuk dalam struktur pori jenis mesopori. Hal ini karena mesopori memiliki struktur pori berdiameter antara 2 nm - 5 nm. Struktur pori pada karbon aktif tersebut juga dipengaruhi oleh penggunaan *activator agent* KOH yang memiliki keunggulan membentuk struktur mesopori dengan morfologi yang halus [11]. Oleh karena itu, karbon aktif dengan waktu iradiasi ultrasonik 30 menit pada proses aktivasinya tersebut dapat berpotensi untuk diterapkan sebagai adsorben logam berat dari cairan yang tercemar.

4. Kesimpulan

Rendemen karbon yang diperoleh dari hasil pirolisis serbuk karet ELT sebesar 72,8%. Setelah dilakukan aktivasi pada karbon hasil pirolisis, *yield* karbon aktif yang dihasilkan pada berbagai variasi waktu iradiasi tidak menunjukkan perbedaan yang signifikan dengan rata-rata *yield* sebesar 93,32%. Hal ini menunjukkan bahwa aktivasi kimia dengan KOH berbantuan iradiasi ultrasonik tidak berdampak signifikan terhadap jumlah karbon aktif yang terbentuk. Karbon aktif dengan waktu iradiasi ultrasonik 30 menit merupakan karbon aktif yang memiliki sifat paling unggul. Karakteristik proksimat karbon aktif tersebut memenuhi syarat mutu karbon aktif SNI 06–3730–1995 serta memiliki luas permukaan tertinggi yaitu $401,11 \text{ m}^2/\text{g}$ dan diameter pori 2,1652 nm yang termasuk kategori struktur mesopori sehingga dapat berpotensi untuk diterapkan sebagai adsorben logam berat dari cairan yang tercemar.

5. Konflik Kepentingan

Semua penulis tidak memiliki konflik kepentingan (*conflict of interest*) pada publikasi artikel ini.

6. Daftar Pustaka

- [1] F. Valentini and A. Pegoretti, “End-of-life options of tyres. a review,” *Advanced Industrial and Engineering Polymer Research*, vol. 5, no. 4, pp. 203–213, 2022.
- [2] S. Dabic-Miletic, V. Simic, and S. Karagoz, “End-of-life tire management: a critical review,” *Environmental Science and Pollution Research*, vol. 28, pp. 68053–68070, 2021.
- [3] N. Muttill, S. Jagadeesan, A. Chanda, M. Duke, and S. K. Singh, “Production, types, and applications of activated carbon derived from waste tyres: an overview,” *Appl. Sci*, vol. 13, no. 257, 2023.
- [4] X. Junqing, Y. Jiaxue, X. Jianglin, S. Chenliang, H. Wenzhi, H. Juwen, and L. Guangming, “High-value utilization of waste tires: A review with focus on modified carbon black from pyrolysis,” *Science of the Total Environment*, vol. 742, 2020.
- [5] H. M. Tabbakh and R. M. Barhoum, “Preparing of activated carbon from tyre wastes and using it in adsorbing spilled oil on water bodies,” *World Appl Sci J*, vol. 37, no. 6, pp. 458–464, 2019.
- [6] A. Ariri, S. Alva, and S. A. Hasbullah, “Tire waste as a potential material for carbon electrode fabrication: a review,” *SINERGI*, vol. 25, no. 1, pp. 1–10, 2020.
- [7] T. M. Setyoningrum, A. Setiawan, and G. Pamungkas, “Pembuatan karbon aktif dari hasil pirolisis ban bekas,” *Eksergi*, vol. 15, no. 2, pp. 54–58, 2018.
- [8] K. Manirajah, S. V. Sukumaran, N. Abdullah, H. A. Razak, and N. Ainirazali, “Evaluation of low cost-activated carbon produced from waste tyres pyrolysis for removal of 2-chlorophenol,” *Bulletin of Chemical Reaction Engineering & Catalysis*, vol. 14, no. 2, pp. 443–449, 2019.
- [9] Sirajuddin and D. Bith, “Pengaruh konsentrasi H₃PO₄ dan gelombang ultrasonik terhadap kualitas karbon aktif dari cangkang karet,” *Seminar Nasional Terapan Riset Inovatif (SENTRINOV) ke-VII, Series: Engineering and Science*, 2021, vol. 7, no. 1.
- [10] F. Insyirah and M. Khair, “Pembuatan karbon aktif secara kimia hijau dari tandan sawit dengan aktivasi ultrasonik,” in *Prosiding Seminar Nasional Kimia Jurusan Kimia FMIPA Universitas Negeri Surabaya*, 2020, pp. 203–209.
- [11] R. Achmad, M. Zakir, and S. Fauziah, “Pembuatan dan modifikasi karbon aktif pelepah kelapa sawit (*Cocus nucifera* L.) sebagai adsorben metilen biru,” *Indo. J. Pure App. Chem*, vol. 3, no. 2, pp. 1-10, 2020.
- [12] A. Anugraini, I. Syahbanu, and H. Amalya Melati, “Pengaruh waktu sonikasi terhadap karakteristik selulosa asetat hasil sintesis dari sabut pinang,” *Jurnal Kimia Khatulistiwa*, vol. 7, no. 3, pp. 18–26, 2018.
- [13] H. M. Sari, N. Hindryawati, and R. R. Dirgarini, “Pembuatan karbon aktif dari tandan kosong pisang kepok (*Musa paradisiaca* L.) dengan bantuan gelombang ultrasonik,” in *Prosiding Seminar Nasional Kimia FMIPA UNMUL*, 2017, pp. 97–100.
- [14] R. Rahmi, S. Fachruddin, and N. Nurmalasari, “Pemanfaatan limbah serat sago (*Metroxylon* sago) sebagai adsorben iodine,” *Jurnal Rekayasa Kimia & Lingkungan*, vol. 13, no. 1, pp. 70–77, 2018.
- [15] R. Alfairuz and M. Khair, “Preparasi karbon aktif dari limbah batang kelapa sawit dengan aktivasi ultrasonik sebagai adsorben rhodamin B,” *Chemistry Journal of Universitas Negeri Padang*, vol. 10, no. 2, pp. 64–67, 2021.
- [16] O. Togibasa, M. Mumfajjah, Y. K. Allo, K. Dahlan, and Y. O. Ansanay, “The effect of chemical activating agent on the properties of activated carbon from sago waste,” *Appl. Sci*, vol. 11, no. 24, 2021.
- [17] F. Sa’bandi, S. Aini, U. K. Nizar, and M. Khair, “Preparasi karbon aktif dari limbah pelepah kelapa sawit dengan aktivasi ultrasonik sebagai adsorben rhodamin B,” *Chemistry Journal of Universitas Negeri Padang*, vol. 10, no. 2, pp. 59–63, 2021.
- [18] Z. Zhang, L. Xiaoyang, L. Dawei, L. Yuqi, G. Tiantian, W. Baogui, Z. Jiawei, W. Yankui, Z. Guangyan, and Y. Huimin, “Mechanism of ultrasonic impregnation on porosity of activated carbons in non-cavitation and cavitation regimes,” *Ultrason Sonochem*, vol. 51, pp. 206–213, 2019.