

Sintesis Karbon Aktif dari Tandan Kosong Kelapa Sawit dengan Aktivator Gelombang Mikro dan Pengujian Kualitas Berdasarkan SNI 06-3730-1995

Zeny Nur Oktaviani¹, Dwiria Wahyuni^{1*}, Mega Nurhanisa¹

¹ Program Studi Fisika, Universitas Tanjungpura, Indonesia

ARTICLE INFO

Riwayat Artikel:

Draft diterima: 22 Maret 2024

Revisi diterima: 6 Juni 2024

Diterima: 6 Juni 2024

Tersedia Online: 19 Juni 2024

Corresponding author:

dwiriawahyuni@physics.untan.ac.id

ABSTRAK

Karbon aktif merupakan jenis karbon berpori yang memiliki daya serap tinggi terhadap zat yang ada di lingkungan karena telah diaktifkan. Limbah tandan kosong kelapa sawit (TKKS) yang jumlahnya cukup melimpah di Indonesia dapat dijadikan bahan pembuatan karbon aktif. Tujuan penelitian adalah menentukan pengaruh variasi daya dan waktu aktivasi menggunakan *microwave* pada efisiensi adsorpsi larutan metilen biru serta menyelidiki jika karbon aktif dari TKKS sesuai standar uji SNI 06-3730-1995. Adapun metode penelitian yang dilakukan yaitu tahap dehidrasi dilakukan dengan sinar matahari dan oven dengan suhu oven 110°C sampai massa tetap; tahap karbonisasi dilakukan dengan bantuan *furnace* selama 3 jam dengan suhu 500°C; dan tahap aktivasi menggunakan aktivasi gelombang mikro dengan variasi daya yaitu 500W, 600W, dan 900W dan variasi waktu yaitu 5, 10, dan 15 menit; serta dilakukan pengujian kualitas karbon aktif pada parameter tertentu yaitu kadar air, bagian yang menghilang saat pemanasan 950°C, karbon aktif murni, kadar abu, dan daya serap pada metilen biru. Hasil penelitian menunjukkan karbon aktif terbaik adalah pada aktivasi 600W selama 10 menit dengan pengujian kadar abu, kadar air, dan daya serap pada metilen biru sesuai syarat mutu SNI 06-3730-1995.

Kata Kunci: TKKS, Aktivasi Gelombang Mikro, Karbon Aktif, SNI.

ABSTRACT

Activated carbon is a type of carbon whose pores have a high absorption capacity of external substances because it has been activated. Abundant waste of empty fruit bunch can be used to fabricate activated carbon. This study aims to observe the effect of various power and times of carbon activation using *microwave* on the adsorption efficiency of methylene blue solution and determine whether activated carbon from TKKS meets the SNI 06-3730-1995 test. The research was initiated with the dehydration stage carried out by sunlight and oven with an oven temperature of 110 ° C until the mass remains; the carbonization stage is done using a *furnace* at a temperature of 500°C for 3 hours; and the activation stage using *microwave* activation with power variations of 500W, 600W, and 900W and time variations of 5, 10, and 15 minutes; and quality of activated carbon tested on parameters including moisture content, the part that disappears when heating 950 °C, pure activated carbon, ash content, and absorption capacity on methylene blue. The best research result is the activation of 600W for 10 minutes with ash content, water content, and absorption capacity on methylene blue met requirements of SNI 06-3730-1995.

Keywords: TKKS, Microwave Activation, Activated Carbon, SNI.

1. PENDAHULUAN

Indonesia memiliki posisi sebagai produsen minyak sawit terbanyak di dunia dan mempunyai peluang besar dalam memasarkan produknya. Tandan kosong kelapa sawit yang dihasilkan sebanyak 230 kilogram dari 1 ton tandan buah segar, adalah limbah kelapa sawit yang sangat besar selama proses pengolahan kelapa sawit. tetapi hanya sekitar 10% TKKS yang digunakan, dan sisanya menjadi limbah. Industri kelapa sawit menghasilkan banyak limbah, salah satunya adalah TKKS. TKKS terbuat dari bahan dasar kayu yang berupa lignoselulosa yang mengandung selulosa, hemiselulosa, dan lignin sebagai polimernya. TKKS juga mengandung beberapa komponen minor seperti mineral, protein, dan pektin, dengan kadar yang bervariasi sesuai dengan tempat tumbuh dan letak di dalam batang atau cabang [1].

TKKS dapat dimanfaatkan dalam pembuatan karbon aktif sebagai bahan dasar utama [2], [3], dengan sifat adsorpsi tinggi terhadap berbagai jenis zat organik dan anorganik. Dalam pembuatan karbon aktif, dapat digunakan metode aktivasi kimia [4], [5] dan fisika. Namun, metode kimia memiliki kelemahan, antara lain memerlukan waktu yang lama, memerlukan bahan kimia yang mahal dan berbahaya bagi lingkungan, serta menghasilkan limbah yang sulit diolah. Oleh karena itu, metode aktivasi fisika menjadi alternatif yang menjanjikan dalam pembuatan karbon aktif. Metode aktivasi fisika dapat dilakukan dengan metode termal dan metode *microwave*. Berbeda dengan metode termal yang melibatkan proses pemanasan arang dalam aliran gas seperti uap air atau karbon dioksida pada suhu tinggi (800-900°C), metode *microwave* sebagai aktivator untuk aktivasi karbon memanfaatkan gelombang elektromagnetik berinteraksi dengan partikel muatan bahan pada frekuensi tertentu [6].

Metode aktivasi *microwave* menggunakan radiasi gelombang mikro dilakukan untuk memanaskan bahan baku karbon aktif secara seragam dan cepat, sehingga proses aktivasi menjadi lebih efisien. Proses ini meningkatkan luas permukaan dan mengembangkan pori-pori dalam arang, sehingga meningkatkan kemampuan adsorpsi karbon aktif yang dihasilkan [6]. Dibandingkan dengan metode termal, penggunaan metode aktivasi *microwave* juga tidak memerlukan konsumsi energi yang tinggi sehingga dapat digunakan pada laboratorium sederhana. Selanjutnya, karbon aktif yang dihasilkan melalui metode ini memiliki sifat adsorpsi yang baik untuk berbagai jenis zat organik dan anorganik. Sebelumnya, karbon aktif TKKS yang memenuhi Standar Nasional Indonesia (SNI) pernah difabrikasi [7]. Penelitian lain juga menyebutkan bahwa karbon TKKS dapat dihasilkan melalui proses aktivasi fisika dengan menggunakan oven dengan suhu pemanasan mencapai 800°C [8]. Sehingga, penelitian ini menggunakan metode pembuatan karbon aktif dengan aktivator *microwave*. Metode ini diharapkan dapat mempercepat proses pembuatan karbon aktif serta menghasilkan produk yang lebih efektif. Maka, tujuan dari penelitian ini yaitu menghasilkan karbon aktif TKKS menggunakan metode aktivasi *microwave* yang divalidasi kualitasnya berdasarkan parameter SNI 06-3730-1995 mengenai arang aktif teknis agar penelitian ini bisa memberikan kontribusi terhadap pengembangan teknologi ramah lingkungan dalam pengolahan limbah TKKS juga dapat menghasilkan produk yang memiliki nilai tambah.

2. METODE PENELITIAN

Pada penelitian ini, digunakan TKKS yang telah dipotong. Setelah itu, potongan TKKS dicuci menggunakan air agar kotoran atau bahan organik yang menempel pada permukaan dapat terlepas. Pencucian dilakukan dengan hati-hati agar struktur selulosa pada TKKS tidak rusak. Selanjutnya, pada tahap dehidrasi TKKS yang telah dicuci lalu dijemur hingga kering. Berikutnya, ditimbang massa sebelumnya dan di oven pada suhu 110°C hingga massanya konstan. Berikutnya, ke tahap karbonisasi yaitu TKKS dipanaskan di *furnace* selama 3 jam di suhu 500°C [6]. Kemudian, saat telah mendingin, TKKS yang sudah menjadi karbon dihaluskan menggunakan mortar dan alu, untuk kemudian dilakukan pengayakan untuk mendapatkan partikel berukuran 100 mesh. Berikutnya, tahap aktivasi menggunakan *microwave* yang dilakukan dengan memvariasi daya radiasi yaitu 500 watt, 600 watt, dan 900 watt yang diukur dengan alat ukur watt-meter digital dan juga variasi waktu radiasi yaitu 5, 10, dan 15 menit untuk perbandingan volume akuades terhadap massa karbon yaitu 4:1 [9]. Setelah proses aktivasi, karbon dibilas dengan akuades untuk melepaskan pengotor, lalu menggunakan oven dengan suhu 110°C karbon dikeringkan hingga massa konstan. Proses pengeringan ini dilakukan selama 3 jam dengan penimbangan dilakukan tiap 1 jam.

Langkah selanjutnya adalah pengujian SNI 06-3730-1995 pada karbon aktif dengan 6 parameter uji yaitu bagian yang hilang saat pemanasan 950°C, kadar air, kadar abu, karbon aktif murni, bagian yang tidak terarang, dan daya serap terhadap metilen biru. Adapun langkah pengujian pada bagian yang hilang saat pemanasan 950°C dilakukan dengan menimbang sampel karbon aktif TKKS sebanyak 1 gram kemudian diletakkan ke dalam cawan porselen. Cawan porselen ditutup dengan penutupnya, kemudian diletakkan ke *furnace*. *Furnace* dipanaskan hingga suhu mencapai 950°C kemudian dimatikan. Setelah dingin, sampel tersebut kemudian ditimbang untuk mengetahui bobot setelah sampel dilakukan pengujian. Bagian yang hilang saat dipanaskan sampai suhu 950°C (A) dalam satuan persen dihitung menggunakan persamaan (1) dengan besaran terkait adalah bobot sampel sebelum pemanasan (W_1) dan setelah pemanasan (W_2) dengan satuan gram.

$$(A)(\%) = \frac{(W_1 - W_2)}{W_1} \times 100 \quad (1)$$

Pengujian kadar air dilakukan dengan cara menimbang sampel sebesar 1 g yang kemudian dimasukkan ke botol vial tidak bertutup. Kemudian, botol vial tersebut dimasukkan ke oven pada suhu 120°C selama 3 jam. Selanjutnya, sampel dimasukkan ke desikator selama proses pendinginan. Bobot sampel setelah pengujian lalu ditimbang. Perhitungan persentase kadar air (B) adalah menggunakan persamaan (2) dengan W_3 merupakan bobot sampel sebelum pemanasan pada suhu 120°C dan W_4 adalah bobot sampel setelah pemanasan tersebut dengan satuan gram.

$$(B)(\%) = \frac{W_4}{W_3} \times 100 \quad (2)$$

Selanjutnya, untuk pengujian kadar abu digunakan sampel sejumlah 2 g yang diletakkan dalam cawan porselen tanpa ditutup. Kemudian ditanur 2 jam pada suhu 900°C. Dengan menggunakan persamaan (3), kadar abu dapat dihitung. Persamaan ini mencakup bobot awal sampel sebelum pemanasan pada suhu 900°C (W_5) dan bobot akhir sampel (W_6) dengan satuan gram.

$$(C)(\%) = \frac{W_6}{W_5} \times 100 \quad (3)$$

Selanjutnya, dilakukan pengujian bagian yang tidak terarang dengan pengamatan sampel secara langsung. Pada pengujian karbon aktif terikat/murni, hasil dari uji kadar abu serta bagian menghilang saat pemanasan 950°C dijumlahkan kemudian dikurangi dengan 100%. Adapun keterangan dari persamaan (4) yaitu A merupakan hasil dari uji bagian hilang saat pemanasan 950°C, serta C adalah nilai dari uji kadar abu dengan satuan %.

$$(D)(\%) = 100 - (A + C) \quad (4)$$

Berikutnya, untuk daya serap metilen, langkah pengujian biru dilakukan dengan menimbang sampel sebesar 0,5 g kemudian dimasukkan ke oven pada suhu 110°C (1 jam), lalu disimpan di dalam desikator untuk pendinginan. Setelah itu, menggunakan erlenmeyer, sampel dimasukkan bersama metilen biru dalam bentuk larutan 75 mg/L sejumlah 50 mL, lalu selama 30 menit dilakukan pengadukan larutan. Setelah itu, larutan metilen biru dipisahkan dari sampel melalui saringan. Spektrofotometri UV-Vis ($\lambda=665\text{nm}$) digunakan untuk menguji campuran hasil penyaringan. Dengan menggunakan persamaan (5) dan persamaan (6) kapasitas adsorpsi (Q) dan efisiensi adsorpsi (EA) dapat dihitung [10]. Persamaan-persamaan ini mencakup: V adalah volume MB (L), C_a adalah konsentrasi inisial MB (mg/L) dan C_b adalah konsentrasi akhirnya (mg/L), F_p adalah faktor pengenceran, dan W adalah bobot karbon aktif (g).

Kapasitas adsorpsi (Q):

$$(Q) \text{ (mg/g)} = \frac{V (C_a - C_b) F_p}{W} \quad (5)$$

Efisiensi adsorpsi (EA):

$$(EA) (\%) = \frac{C_a - C_b}{C_a} \times 100\% \quad (6)$$

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Tahap dehidrasi TKKS dilakukan dengan melakukan penjemuran bahan di bawah sinar matahari. Kemudian, bahan TKKS dipanaskan di dalam oven pada suhu 110°C hingga massa konstan untuk memastikan tidak ada lagi kandungan air. Hasil dari tahap dehidrasi yang telah dilakukan pada penelitian ini adalah bahan TKKS sebesar 1.545 gram. Selanjutnya, dilakukan tahap karbonisasi sebanyak 6 kali dengan total hasil karbon TKKS yang didapat yaitu sebesar 250 gram. Berikutnya, adalah tahap aktivasi yang dilakukan dengan menggunakan *microwave* dengan variasi daya 500W, 600W, 900W, dan 1000W serta variasi waktu yaitu 5, 10, dan 15 menit [6]. Untuk variasi daya 1000W dengan waktu 10 dan 15 menit tidak dapat digunakan dikarenakan pada daya dan waktu tersebut, karbon menjadi abu. Hal ini terjadi karena daya yang digunakan terlalu tinggi dan waktu yang terlalu lama sehingga *microwave* menjadi sangat panas yang membuat karbon menjadi cepat kering hingga menjadi abu.

Kualitas karbon aktif diuji menggunakan SNI 06-3730-1995. Uji yang dilakukan adalah bagian yang menghilang saat pemanasan 950°C (pengujian kadar uap), kadar air, kadar abu, karbon aktif murni, bagian yang tidak terarang yang dilakukan secara visual, dan daya serap metilen biru menggunakan uji UV-Vis. Tabel 1 menunjukkan hasil pengujian bagian yang menghilang saat pemanasan 950°C (kadar zat mudah menguap). Pada pengujian ini, dilakukan pengulangan uji sebanyak 3 kali dan memperoleh rata-rata sebesar 19,67 hingga 36,33%. Pada pengujian ini, terlihat bahwa hasil uji yang sesuai dengan SNI karbon aktif adalah yang diaktivasi dengan menggunakan daya 600W dan 900W. Untuk karbon aktif yang tidak diaktivasi dan diaktivasi dengan daya 500W yaitu tidak memenuhi SNI. Pada dasarnya, pemanasan terjadi karena adanya zat-zat penyusun karbon aktif yang mudah menguap saat penguraian. Kadar zat yang mudah menguap terendah adalah 19,67% pada daya 900W selama 10 menit, sedangkan tertinggi adalah 23,67% pada daya 600W selama 5 menit. Zat ini akan mengalami penurunan kadar saat suhu aktivasi dinaikkan, disebabkan oleh lepasnya ikatan senyawa-senyawa pada pori-pori karbon aktif seperti karbon dioksida, karbon monoksida, metana, dan hidrogen [11].

Tabel 1. Data hasil uji bagian yang hilang saat pemanasan 950°C.

Variasi		Rata-rata (%) (Maks. 25%)	Keterangan
Daya (Watt)	Waktu (menit)		
500	5	27,67	Sampel tidak memenuhi standar
500	10	27,33	
500	15	26,67	
600	5	23,67	Sampel memenuhi standar
600	10	21,33	
600	15	21,67	
900	5	21,67	Sampel memenuhi standar
900	10	19,67	
900	15	20,67	
<i>non active</i>		36,33	Sampel tidak memenuhi standar

Karbon aktif TKKS memenuhi SNI 06-3730-1995 pada pengujian kadar air dengan pengulangan uji sebanyak 3 kali. Kemampuan adsorpsi karbon TKKS akan meningkat dengan kadar air yang lebih rendah pada karbon TKKS [10]. Nilai kadar air sebagaimana yang ditampilkan pada Tabel 2 menunjukkan kadar air yang tinggi terjadi pada daya 500W selama 5 menit, dengan nilai rata-rata 10,33%, dan nilai kadar air yang rendah terjadi pada daya 900W selama 10 menit, dengan nilai rata-rata 5,67%. Secara umum, kenaikan suhu akan memberikan kadar air yang lebih rendah [12]. Menurut teori, waktu aktivasi yang lebih lama akan menurunkan kadar air. Akan tetapi, hasil penelitian dari pengujian kadar air ini meningkat seiring waktu. Hal ini diduga akibat adanya kerusakan struktur mikropori yang menyebabkan peningkatan jumlah mesopori dan makropori yang lebih cenderung menyerap air. Namun, hal ini perlu dibuktikan melalui karakterisasi ukuran pori yang tidak merupakan bagian dari penelitian ini.

Tabel 2. Data hasil uji kadar air

Variasi		Rata-rata (%) (Maks. 15%)	Keterangan
Daya (Watt)	Waktu (menit)		
500	5	10,33	Sampel memenuhi standar
500	10	10,00	
500	15	9,67	
600	5	8,33	Sampel memenuhi standar
600	10	6,33	
600	15	6,67	
900	5	6,67	Sampel memenuhi standar
900	10	5,67	
900	15	7,00	
<i>non active</i>		15,00	Sampel memenuhi standar

Kadar abu adalah parameter selanjutnya yang menunjukkan kualitas karbon. Kadar abu dilakukan untuk mengetahui seberapa banyak oksida logam yang tersisa pada karbon TKKS. Selama 2 jam, karbon TKKS dipanaskan pada suhu 900°C menggunakan tanur untuk menguji kadar abu. Hasil pengujian kadar abu pada sampel ditunjukkan pada Tabel 3. Adapun kadar abu tertinggi adalah pada daya 500W selama 5 menit dengan nilai rata-rata sebesar 5,33%. Penurunan kadar abu karbon aktif setelah diaktivasi dengan *microwave* disebabkan oleh proses pergerakan molekul dipol yang menyebabkan peningkatan kelaktifan karbon dan pembukaan pori karbon [13]. Meskipun kadar abu akan meningkat dengan kenaikan suhu (dalam penelitian ini diberikan oleh daya) [14], persentase kadar abu pada penelitian ini tidak konsisten dikarenakan dengan lamanya aktivasi sehingga pori-pori karbon aktif menjadi terbuka, yang memungkinkan menambah kadar air dan uap air di udara masuk ke pori-pori karbon aktif. Uji kadar abu dengan pengulangan uji 3 kali yang dilakukan telah sesuai SNI 06-3730-1995 untuk semua variasi dengan nilai rata-rata sebesar 2,83% hingga 6,67%.

Tabel 3. Data hasil uji kadar abu.

Variasi		Rata-rata (%)	Keterangan
Daya (Watt)	Waktu (menit)	(Maks. 10%)	
500	5	5,33	Sampel memenuhi standar
500	10	4,67	
500	15	5,00	
600	5	3,83	Sampel memenuhi standar
600	10	3,16	
600	15	4,16	
900	5	4,83	Sampel memenuhi standar
900	10	5,16	
900	15	4,83	
<i>non active</i>		6,67	Sampel memenuhi standar

Pada pengujian bagian yang tidak terarang diperoleh visualisasi karbon aktif yakni berwarna hitam pekat, baik sebelum aktivasi maupun sesudah aktivasi. Hal ini dikarenakan karbon aktif yang diaktivasi tidak dicampur dengan bahan yang dapat merubah warna karbon aktif sehingga tidak merubah warna dari karbon aktif itu sendiri. Sementara itu, pada pengujian karbon aktif murni (Tabel 4), semua hasil uji sesuai dengan SNI karbon aktif dengan nilai rata-rata sebesar 57,83% hingga 75,5%.

Tabel 4. Hasil pengujian karbon aktif murni.

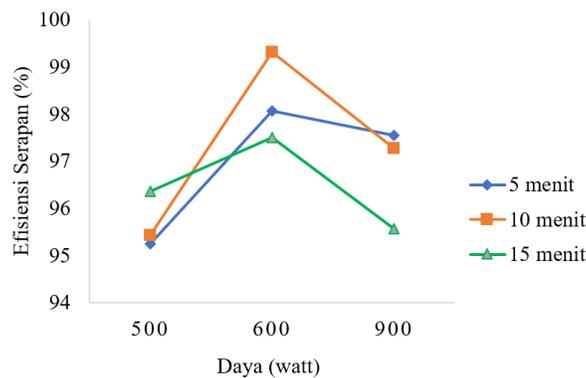
Variasi		Rata-rata (%)	Keterangan
Daya (Watt)	Waktu (menit)	(Min. 65%)	
500	5	67,00	Sampel memenuhi standar
500	10	68,00	
500	15	68,33	
600	5	72,50	Sampel memenuhi standar
600	10	75,50	
600	15	74,16	
900	5	73,5	Sampel memenuhi standar
900	10	75,16	
900	15	74,67	
<i>non active</i>		57,83	Sampel tidak memenuhi standar

Pengujian karbon aktif murni dilakukan dengan melihat seberapa banyak karbon yang masih ada sesudah tahap karbonisasi dan aktivasi berjalan. Karbon aktif murni disebabkan oleh faktor zat yang mudah menguap dan kadar abu, serta lignin dan selulosa bahan. Pada daya 600W selama 10 menit, persentase rata-rata karbon aktif murni tertinggi diperoleh yaitu dengan nilai rata-rata sebesar 75,5%, dan terendah adalah dengan nilai rata-rata sebesar 67% pada daya 500W selama 5 menit. Tabel 4 juga menunjukkan bahwa kenaikan daya pada waktu pendek (5 menit) akan menghasilkan jumlah karbon aktif yang semakin besar. Akan tetapi, pada waktu yang lebih panjang (10 dan 15 menit), jumlah karbon aktif murni bergantung pada daya *microwave* yang digunakan. Pada daya yang tinggi (900 W) dan waktu panjang, karbon aktif cenderung menjadi abu akibat pemanasan yang terjadi.

Tabel 5. Data hasil uji kapasitas adsorpsi (Q) dan efisiensi adsorpsi (EA).

Variasi		Ca (mg/L)	Q (mg/g)	EA%
Daya (watt)	Waktu (menit)			
500	5	3,683	350,8	95,24
500	10	3,683	351,5	95,43
500	15	3,683	354,9	96,36
600	5	3,683	361,2	98,07
600	10	3,683	365,8	99,32
600	15	3,683	359,1	97,50
900	5	3,683	359,3	97,55
900	10	3,683	358,3	97,28
900	15	3,683	352,0	95,57
non active		3,683	338,8	91,99

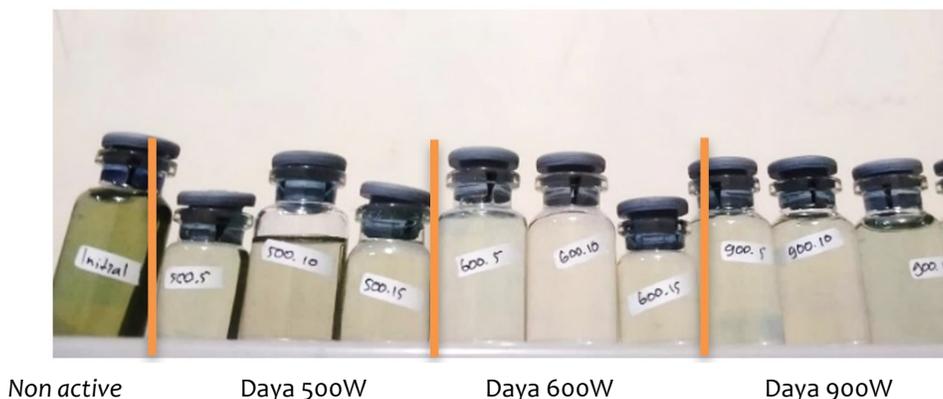
Nilai karbon aktif murni pada dasarnya memiliki hubungan pada parameter uji yang dipilih pada penelitian ini. Hal tersebut terkait dengan kandungan karbon setelah proses karbonisasi dan aktivasi. Bahan TKKS yang memiliki kadar air rendah cenderung menghasilkan arang dengan kandungan karbon yang lebih tinggi karena lebih banyak massa yang tersisa untuk dikarbonisasi. Kadar abu yang tinggi pada satu bagian sampel TKKS yang dikarbonisasi dan diaktivasi akan berarti karbon yang terbentuk menjadi lebih sedikit. Bagian yang hilang saat pemanasan 950°C berkontribusi pada peningkatan persentase karbon karena zat non-karbon dan *volatile matter* akan dihilangkan. Semakin besar bagian yang hilang, semakin tinggi konsentrasi karbon dalam arang yang dihasilkan [8].



Gambar 1. Efisiensi adsorpsi larutan metilen biru terhadap variasi daya dan waktu pada hasil aktivasi menggunakan *microwave*.

Pada penelitian ini, semua hasil uji telah sesuai dengan SNI 06-3730-1995 untuk uji daya serap metilen biru dengan nilai minimal 120 mg/g. Hasil pengukuran uji kapasitas adsorpsi metilen biru diberikan pada Tabel 5. Tujuan adsorpsi pada metilen biru adalah untuk melihat kapasitas karbon aktif dalam penyerapan larutan berwarna dan untuk mengetahui luas permukaan pori karbon aktif [10]. Salah satu parameter yang menentukan kualitas karbon TKKS yang dibuat adalah kemampuan untuk menyerap metilen biru dengan SNI karbon aktif minimal 120 mg/g. Menggunakan spektrofotometer UV-Vis dengan panjang gelombang 665 nm, dilakukan pengukuran daya serap karbon pada metilen biru. Pengujian menunjukkan kapasitas adsorpsi 338,8 mg/g hingga 365,8 mg/g. Sementara itu, efisiensi adsorpsi terbaik sebesar 99,3% adalah pada daya 600W selama 10 menit. Hasil ini sesuai dengan tren yang terjadi pada pengujian kadar karbon aktif murni. Hal ini terkait dengan pembentukan pori karbon aktif. Pada daya tinggi dan waktu yang panjang, dinding pori-pori karbon hancur dikarenakan terkena oleh paparan radiasi gelombang mikro sehingga menurunkan luas permukaan pada karbon aktif yang berpengaruh pada kemampuan adsorpsi karbon aktif terhadap metilen biru [11].

Gambar 1 menunjukkan nilai efisiensi adsorpsi dari pengujian karbon aktif terhadap daya serap larutan metilen biru. Dalam grafik tersebut terlihat bahwa efisiensi adsorpsi pada karbon aktif berpengaruh sebagai penurunan konsentrasi zat metilen biru. Pada daya 500W, nilai efisiensi adsorpsi menunjukkan signifikan terhadap waktu, dan nilai efisiensi adsorpsi paling tinggi selama 15 menit dengan nilainya sebesar 96,36%. Namun, pada daya 600W, nilai efisiensi adsorpsi tidak signifikan terhadap waktu, selama 15 menit, nilai efisiensi adsorpsi menurun daripada yang waktunya selama 5 menit. Akan tetapi, pada daya 600W selama 10 menit memiliki nilai efisiensi adsorpsi paling tinggi daripada daya dan waktu yang lain. Namun, pada daya 900W, nilai efisiensi adsorpsi menurun terhadap waktu. Selain itu, kenaikan nilai efisiensi yang lebih menonjol terjadi pada daya 600W dan waktu 10 menit dengan nilai efisiensi adsorpsi sebesar 99,3%. Hal ini terjadi karena nilai dari kapasitas adsorpsi karbon aktif selama 10 menit dengan daya 600W yaitu sebesar 365,8 mg/g yang nilainya melebihi dari SNI yaitu minimal 120 mg/g sehingga memiliki persentase efisiensi adsorpsi yang tinggi.



Gambar 2. Hasil visual warna larutan metilen biru yang diberikan karbon aktif.

Larutan metilen biru yang diberikan karbon aktif tidak diaktivasi (*non active*) memiliki warna yang keruh dikarenakan pori-pori karbon aktif belum sepenuhnya terbuka sehingga penyerapan pada metilen biru kurang baik [16]. Pada larutan metilen biru yang menggunakan karbon aktif dengan aktivasi daya 500W memiliki warna agak jernih. Larutan metilen biru yang menggunakan karbon aktif dengan aktivasi daya 600W memiliki warna jernih, sama halnya dengan karbon aktif dengan aktivasi daya 900W dan 1000W yang memiliki warna jernih hampir tidak terlihat warna dari metilen biru itu sendiri. Setelah dilakukan uji menggunakan spektrofotometer UV-Vis, daya serap pada metilen biru terbaik diperoleh dari karbon aktif yang diaktivasi selama 10 menit dengan daya 600W untuk nilai kapasitas adsorpsi yaitu 365,8 mg/g dan nilai efisiensi adsorpsi sebesar 99,3 %.

Tabel 6. Rangkuman hasil uji karbon aktif berdasarkan SNI 06-3730-1995 (warna hijau = memenuhi SNI).

Variasi		Bagian yang hilang pada pemanasan 95° C (%)	Kadar air (%)	Kadar abu (%)	Karbon aktif murni (%)	Daya serap pada metilen biru (mg/g)
Daya (watt)	Waktu (menit)					
500	5	27,67	10,33	5,33	67,00	350,8
500	10	27,33	10,00	4,67	68,00	351,5
500	15	26,67	9,67	5,00	68,33	354,9
600	5	23,67	8,33	3,83	72,50	361,2
600	10	21,33	6,33	3,16	75,50	365,8
600	15	21,67	6,67	4,16	74,16	359,1
900	5	21,67	6,67	4,83	73,50	359,3
900	10	19,67	5,67	5,16	75,16	358,3
900	15	20,67	7,00	4,83	74,67	352,0
non active		36,33	15,00	6,67	57,83	338,8
SNI06-3730-1995		Maks. 25	Maks. 15	Maks. 10	Min. 65	Min. 120

Berdasarkan Tabel 6, karbon aktif yang dibuat dari TKKS memiliki kadar air, abu, serta uap (atau bagian yang menghilang saat pemanasan 950°C) lebih rendah saat setelah diaktivasi daripada sebelum aktivasi atau tidak diaktivasi. Artinya, karbon aktif yang diaktivasi sudah sesuai syarat mutu SNI 06-3730-1995, meskipun masih terdapat beberapa yang tidak memenuhi. Karbon aktif yang tidak diaktivasi pada penelitian ini hanya memenuhi 2 parameter uji SNI 06-3730-1995 yaitu kadar air dan kadar abu dengan nilai rata-rata yaitu kadar air 15% dan kadar abu 6,67%. Maka dari itu, aktivasi sangat diperlukan agar karbon aktif bisa memenuhi syarat mutu karbon aktif.

4. KESIMPULAN

Efisiensi adsorpsi pada karbon aktif berpengaruh sebagai penurunan konsentrasi zat larutan berbahaya (metilen biru). Kenaikan nilai efisiensi yang lebih menonjol terjadi pada daya 600W dan waktu 10 menit dengan nilai efisiensi adsorpsi (EA) sebesar 99,3%. Hal ini terjadi karena nilai dari kapasitas adsorpsi karbon aktif memiliki persentase efisiensi adsorpsi yang tinggi yaitu sebesar 365,8 mg/g yang nilainya melebihi dari SNI yaitu minimal 120 mg/g.

Karbon aktif yang terbuat dari TKKS dengan aktivasi fisika menggunakan gelombang mikro (*microwave*) memenuhi mutu SNI karbon aktif atau arang aktif untuk uji kadar abu, kadar air, dan karbon aktif murni. Sementara itu, untuk uji zat mudah menguap (bagian yang menghilang saat pemanasan 950°C) terdapat data yang tidak memenuhi SNI karbon aktif yaitu pada variasi aktivasi daya 500W dengan waktu yang divariasikan yaitu 5, 10, dan 15 menit. Adapun variasi aktivasi terbaik yang memenuhi SNI yaitu pada daya 600W selama 10 menit dengan nilai efisiensi adsorpsi terhadap metilen biru sebesar 99,3%. Karbon aktif yang dibuat pada penelitian sudah sesuai SNI 06-3730-1995, yaitu nilai kadar air dengan rentang 5,67% - 10,33%, kadar abu antara 2,83% - 5,33%, karbon aktif murni antara 67% - 75,5%, dan kemampuan untuk menyerap metilen biru antara 338,8 mg/g - 350,8 mg/g.

5. UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis berterima kasih kepada DIPA FMIPA Universitas Tanjungpura ini dengan nomor SP DIPA-023.17.2.677517/2023 tertanggal 30 November 2022, dan nomor kontrak 2680/UN22.8/PT.01.05/2022 untuk pendanaan penelitian.

6. REFERENSI

- [1] Sumila, A. Asri, M. Arsyad, and D. Wahyuni, "Uji Kinerja Karbon Aktif Tandan Kosong Kelapa Sawit (Tkks) Sebagai Reusable Adsorbent Logam Besi Pada Air Gambut," *Jurnal Fisika: Fisika Sains dan Aplikasinya*, vol. 8, no. 2, pp. 17–22, 2023.
- [2] E. Taer, W. S. Mustika, and Sugianto, "Pemanfaatan Potensi Tandan Kosong Kelapa Sawit Sebagai Karbon Aktif untuk Pembersih Air Limbah Aktivitas Penambangan Emas," *Jurnal Komunikasi Fisika Indonesia*, no. C, pp. 852–858, 2016.
- [3] M. Maslahat, E. Kamalia, and D. Arrisujaya, "Sintesis dan Karakterisasi Mikro Partikel Karbon Aktif Tandan Kosong Kelapa Sawit," *Analit: Analytical and Environmental Chemistry*, vol. 7, no. 02, pp. 117–188, 2022.
- [4] S. Harmawanda et al., "Efektivitas Karbon Aktif dari Limbah Tongkol Jagung dengan Variasi Aktivator Asam Klorida dalam Penyerapan Logam Besi pada Air Gambut," 2023, [Online]. Available: <https://journal.unnes.ac.id/nju/index.php/jf/index>
- [5] E. Sahara, W. D. Sulihingtyas, and I. P. A. S. Mahardika, "Pembuatan dan Karakterisasi Arang Aktif dari Batang Tanaman Gumitir (*Tagetes Erecta*) Yang Diaktivasi dengan H₃PO₄," *Jurnal Kimia*, vol. 11, no. 1, pp. 1–9, 2017.
- [6] M. Taufik, T. Suci, D. Kasih, and M. Khair, "Pembuatan Karbon Aktif Cangkang Kelapa Sawit (*Elaeis Guineensis*) dengan Aktivator Gelombang Microwave," *Chemistry Journal of Universitas Negeri Padang*, vol. 10, no. 1, pp. 40–44, 2021.
- [7] Badan Standardisasi Nasional, "SNI 06-3730-1995," 1995.
- [8] I. D. Mumpuni, M. Maslahat, and D. Susanty, "Activation of oil palm empty bunches with hydrochloride acid & phosphoric acid and characterization based SNI No. 06-3730-1995," *Jurnal Sains Natural*, vol. 11, no. 1, p. 16, 2021.
- [9] T. Hendrawati et al., "Sintesis dan Karakterisasi Nanoselulosa Serbuk dari Tandan Kosong Kelapa Sawit Menggunakan Ultrasonifikasi," *Jurnal Teknologi UMJ*, vol. 15, no. 1, pp. 159–166, 2023.
- [10] M. Maslahat, E. Kamalia, and D. Arrisujaya, "Sintesis Dan Karakterisasi Mikro Partikel Karbon Aktif Tandan Kosong Kelapa Sawit," *Analit: Analytical and Environmental Chemistry*, vol. 7, no. 02, p. 177, 2022.
- [11] N. Aulia and M. Khair, "Preparasi Karbon Aktif dari Sabut Kelapa dengan Aktivator Gelombang Mikro untuk Adsorpsi Rhodamin B," *Jurnal Periodic Jurusan Kimia UNP*, vol. 11, no. 1, 2022.
- [12] D. Alimah, "Sifat dan Mutu Arang Aktif dari Tempurung Biji Mete," *Jurnal Penelitian Hasil Hutan*, vol. 35, no. 2, pp. 123–133, 2017.
- [13] I. Wahyuni and R. Fathoni, "Pembuatan Karbon Aktif Dari Cangkang Kelapa Sawit Dengan Variasi Waktu Aktivasi," *Jurnal Chemurgy*, vol. 3, no. 1, p. 11, 2019.
- [14] N. Purnamawati, N. Novrianti, A. Husbani, R. Melysa, and N. Mashitta, "Uji Kualitas Sintesis Karbon Aktif Dari Pelelepah Aren Teraktivasi Asam Fosfat," *Journal of Research and Education Chemistry*, vol. 5, no. 2, p. 120, Dec. 2023

- [15] D. Wahyuni, M. Nurhanisa, A. Bahtiar, and R. Rutdiyanti, "Optimasi Sintesis Karbon Aktif dari Bambu Buluh (*Schizostachyum brachycladum*) dengan Variasi Suhu Karbonisasi untuk Penyerapan Besi pada Air Sumur Gambut," *Jurnal Fisika Unand*, vol. 11, no. 3, pp. 292–298, Jul. 2022
- [16] Ernawati, I. Maflihah, I. Ubang, P. N. Podung, W. Nurbaiti, and S. Lestari, "Adsorpsi Metilen Biru dengan Menggunakan Arang Aktif dari Ampas Kopi," *Prosiding Seminar Nasional Kimia*, vol. 5, no. 5, pp. 173–179, 2021.