

DOI: <https://doi.org/10.21009/JRSKT.091.01>

# Ekstraksi Karbon Aktif Bebas Silika dari Arang Sekam Padi untuk Adsorpsi Zat Warna Methyl Orange

Djoko Hartanto, Yusmaniar\*, Erdawati

*Program Studi Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Jakarta, Gedung KH. Asj'arie, Jl. Rawamangun Muka, 13220, Jakarta, Indonesia.*

\*Email: [yusmaniar@unj.ac.id](mailto:yusmaniar@unj.ac.id)

## Informasi Artikel

Diterima: 17/09/2022

Direvisi: 06/01/2023

Online: 30/06/2023

Edisi: 30/06/2023

## Abstrak

*Ekstrak karbon aktif bebas silika disintesis dari arang sekam padi berhasil diperoleh melalui perbandingan mol karbon:NaOH sebesar 1:3. Hasil karakterisasi SEM pada karbon aktif menunjukkan morfologi materialnya berbentuk butiran dan hasil karakterisasi EDX menunjukkan komposisinya terdiri dari 93.29% karbon; 6.71% oksigen dan 0% silika. Hasil karakterisasi FTIR karbon aktif bebas silika menunjukkan tidak adanya puncak silika pada bilangan gelombang 1100  $\text{cm}^{-1}$ . Berdasarkan hasil karakterisasi SAA, karbon aktif bebas silika memiliki luas permukaan sebesar 6.0018  $\text{m}^2\text{g}^{-1}$  yang tergolong jenis mikropori. Proses adsorpsi dari karbon aktif bebas silika dalam penyerapan zat warna methyl orange optimum pada massa adsorben sebanyak 200 mg dan maksimum pada massa adsorben 250 mg.*

**Kata kunci:** adsorpsi, karbon aktif bebas silika, methyl orange

## Abstract

*The extraction of activated carbon free silica from rice husk with 1:3 mole ratio of carbon : sodium hydroxide has been successfully performed. The SEM result on activated carbon show the morphology of the material is granular and the EDX result showed the composition consisted of 93.29% carbon, 6.71% oxygen, 0% silica. The result of characterization FTIR not showing silica any peak of silica in wavelength 1100  $\text{cm}^{-1}$ . Based of characterization of SAA, indicates the material of activated carbon free silica has a surface area of 6.0018  $\text{m}^2/\text{g}$ , has a microporous type. The adsorption process on methyl orange pigment optimum at 200 mg and maximum at 250 mg.*

**Keywords:** adsorption, activated carbon free silica, methyl orange

## Pendahuluan

Limbah industri semakin bertambah banyak seiring dengan pesatnya perkembangan industri, baik volume maupun jenisnya (Nyashina et al., 2018). Limbah industri khususnya limbah industri tekstil, kertas, kosmetik, makanan, obat-obatan, dan lain-lain, merupakan salah satu penyebab masalah lingkungan akibat dari buangan limbah tersebut yang mencemari lingkungan (Khoshsepehr et al., 2023). Akibatnya beban pencemaran lingkungan semakin berat, sedangkan kemampuan alam untuk menerima beban limbah terbatas (Jagiello et al., 2022). Jenis limbah industri banyak macamnya tergantung bahan baku dan proses yang digunakan oleh masing-masing industri (Cavallo & Dino, 2022). Salah satu masalah yang paling mengganggu dari limbah industri tersebut adalah kandungan zat warna (Higuera et al., 2018). Zat warna merupakan gabungan dari zat organik tidak jenuh dengan kromofor sebagai pembawa warna dan aoksokrom sebagai pengikat warna dengan serat (Noirbent et al., 2021). Industri tekstil merupakan salah satu jenis industri di Indonesia yang menghasilkan limbah cair berwarna, zat warna dalam industri tekstil merupakan salah satu bahan baku utama, sekitar 10-15% dari zat warna yang sudah digunakan tidak dapat didaur ulang (Sun et al., 2023). Zat warna yang sering dipakai dalam industri tekstil yaitu *methyl orange*.

*Methyl orange* merupakan salah satu zat warna anionik dengan gugus azo yang berupa serbuk berwarna jingga tua yang memiliki ukuran molekul  $1.58 \times 0.65 \times 0.26 \text{ nm}^3$  (Wu et al., 2021). Banyak usaha yang telah dilakukan untuk meminimalisir dan mengatasi pencemaran dari zat warna *methyl orange*. Beberapa metode telah dilakukan untuk menanggulangi masalah limbah warna antara lain oksidasi, koagulasi dan flokulasi dan adsorpsi (Gou et al., 2022). Metode adsorpsi merupakan salah satu cara yang efisien dan efektif untuk proses penghilangan zat warna (Gürses et al., 2023). Keunggulan metode ini adalah tidak terbentuk lumpur, zat warna dapat diserap dengan baik dan adsorben yang telah digunakan dapat diregenerasi. Adsorben yang umumnya digunakan untuk pengolahan limbah zat warna adalah karbon aktif. Karbon aktif dapat menyerap dengan baik senyawa-senyawa organik (Iftikhar et al., 2023) dan biaya produksi relatif murah karena bahan baku pembuatan karbon aktif dapat berasal dari limbah biomassa (Valentini et al., 2023).

Penggunaan karbon aktif sebagai penyerap zat warna *methyl orange* merupakan salah satu alternatif dalam pengolahan limbah zat warna karena lebih selektif, pendekatan kompetitif, efektif, dan murah (Serban et al., 2023). Sejumlah karbon aktif dari biomassa yang dapat digunakan sebagai adsorben yaitu tempurung kenari cangkang kelapa sawit, batang pisang, ampas tebu, kulit durian, dan kulit kakao. Hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa limbah pertanian yang mengandung gugus-gugus fungsi dapat diolah lebih lanjut menjadi karbon aktif yang dapat berfungsi sebagai adsorben untuk menyerap zat warna dari perairan.

Salah satu tanaman yang berpotensi digunakan sebagai sumber karbon adalah padi. Sekam padi merupakan produk samping yang melimpah dari hasil penggilingan padi (Samsalee et al., 2023). Selama ini sekam padi hanya digunakan sebagai bahan bakar untuk pembakaran bata merah, pembakaran untuk memasak, atau dibuang begitu saja (Kordi et al., 2023). Sekam padi umumnya mengandung lebih dari 50% silika ( $\text{SiO}_2$ ), 40% karbon dan 10% campuran kalium, natrium, sulfur, fosfor dan nitrogen. Penggunaan sekam padi sebagai karbon aktif telah digunakan dalam penelitian sebelumnya untuk mengadsorpsi zat warna *methylene blue* sebanyak 38.6%. Selain digunakan sebagai adsorben zat warna, karbon aktif juga dapat digunakan sebagai adsorben polutan di air. Penggunaan karbon aktif sebagai adsorben polutan memiliki kemampuan lebih

tinggi dibandingkan dengan adsorben silika yaitu sebesar 89.50% sedangkan pada silika hanya 65.00%. Kandungan silika pada karbon aktif dapat menurunkan kemampuan dari karbon aktif karena silika akan menempati pori pada karbon aktif. Oleh sebab itu, dalam penelitian ini akan dilakukan ekstraksi karbon aktif yang bebas silika dan studi perbandingan kemampuan adsorpsi antara karbon aktif yang telah bebas silika dengan karbon aktif yang mengandung silika. Berdasarkan latar belakang yang telah dipaparkan maka pada penelitian ini akan dilakukan pembuatan karbon aktif yang telah bebas silika dari sekam padi yang akan digunakan sebagai adsorben untuk mengurangi kandungan zat warna *methyl orange* dalam limbah industri.

## Metode

### Ekstraksi karbon aktif

Sebanyak 75 gram sekam padi terlebih dahulu dicuci menggunakan aqua DM untuk menghilangkan pengotor yang larut dalam air. Sekam padi dikeringkan selama 2 hari pada suhu ruang untuk menghilangkan kandungan airnya. Sekam padi yang telah kering dimasukkan dalam alat *furnace* dengan suhu 400°C selama 4 jam hingga terbentuk arang sekam

### Pembuatan karbon aktif bebas silika

Arang sekam padi sebanyak 15 gram selanjutnya dicuci dengan 500 mL aqua DM dan disaring untuk menghilangkan pengotor yang dapat larut dalam air. Selanjutnya arang sekam padi yang telah disaring dikeringkan dalam oven pada suhu 100°C selama 6 jam kemudian dihaluskan menggunakan mortar alu dan diayak. Arang sekam yang telah kering dicampurkan dengan larutan NaOH dengan perbandingan mol 1:1, 1:2, 1:3 dan direfluks selama 2 jam sambil diaduk selama 1 menit setiap 15 menit sekali. Campuran yang dihasilkan kemudian ditambahkan larutan HCl 1 M hingga pH campuran netral ditandai dengan pH universal yang menunjukkan skala warna pH 7. Campuran kemudian disaring lalu endapan yang dihasilkan selanjutnya dicuci dengan aqua DM hingga pengotor ion Cl<sup>-</sup> bersih yang ditandai dengan hasil pengujian larutan AgNO<sub>3</sub> 1 M tidak terbentuk endapan putih AgCl. Endapan karbon selanjutnya dipanaskan dalam oven selama 8 jam pada suhu 100°C untuk menghilangkan kandungan airnya. Karbon yang dihasilkan selanjutnya dihaluskan kemudian disaring dengan ayakan 120 mesh sehingga berbentuk bubuk halus berwarna hitam. Karbon aktif yang telah diekstraksi dari sekam padi selanjutnya dikarakterisasi menggunakan SEM-EDX (*Scanning Electron Microscopy-Energy Dispersive X-Ray*), SAA (*Surface Area Analyzer*) dan FTIR (*Fourier Transform Infra Red*)

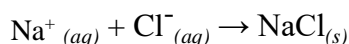
### Uji adsorpsi zat warna Methyl Orange

Sebanyak 15 mL larutan Methyl Orange 50 mg/L ditambahkan karbon aktif bebas silika dengan variasi massa 50; 100; 150; 200; dan 250 mg. Campuran tersebut diaduk dengan stirer selama 15 menit kemudian disaring. Filtrat yang dihasilkan dianalisis dengan Spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang 550 nm. Hasil yang didapatkan dibandingkan dengan hasil absorpsi menggunakan karbon aktif yang belum bebas silika.

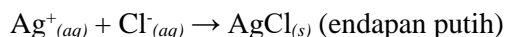
## Hasil dan Pembahasan

### Pembuatan arang sekam padi

Sekam padi yang digunakan dalam penelitian ini dibakar dalam *furnace* pada suhu 400°C selama 4 jam. Arang sekam padi yang masih berupa butiran kasar dihaluskan kemudian diayak menggunakan ayakan dengan ukuran 120 mesh sehingga didapatkan serbuk arang yang halus. Sebanyak 2,4 gram serbuk arang sekam padi dicampurkan dengan NaOH menggunakan perbandingan mol 1:1; 1:2; dan 1:3 dalam alat refluks pada suhu 100 °C selama 2 jam. Campuran yang dihasilkan kemudian disaring dengan kertas whatman No. 42. Endapan yang dihasilkan selanjutnya dicampurkan dengan HCl 1 M hingga pH netral. Penambahan HCl bertujuan untuk mengikat ion Na<sup>+</sup> menjadi NaCl yang larut dalam air. Reaksi yang terjadi adalah sebagai berikut:



Setelah campuran disaring, endapan karbon aktif yang didapatkan dibilas dengan aqua DM untuk menghilangkan pengotor ion Cl<sup>-</sup> yang terdapat dalam endapan karbon aktif. Pembuktian tidak adanya ion Cl<sup>-</sup> dalam endapan karbon aktif dilakukan secara kualitatif menggunakan larutan AgNO<sub>3</sub> 1 M dengan ditandai tidak munculnya endapan putih (AgCl) pada filtrat. Reaksi pengendapan ion Cl<sup>-</sup> oleh larutan AgNO<sub>3</sub> adalah sebagai berikut:



Endapan karbon aktif selanjutnya dipanaskan dalam oven selama 4 jam pada suhu 100°C untuk menghilangkan kandungan airnya. Karbon yang dihasilkan selanjutnya dihaluskan dengan ayakan 120 mesh sehingga didapatkan sekam padi berbentuk bubuk halus.

### Analisis menggunakan SEM EDX

Sampel karbon hasil ekstraksi dikarakterisasi menggunakan instrument SEM-EDX untuk mengetahui kadar kandungan silika dalam karbon aktif.

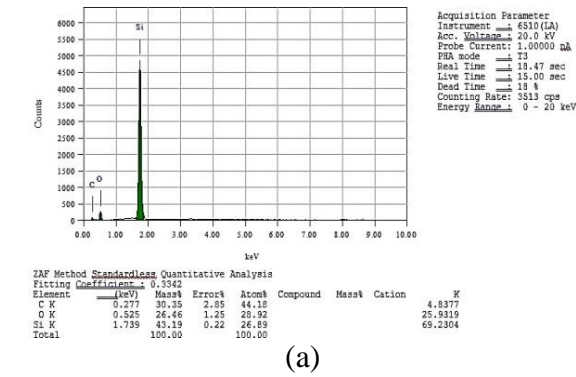
Gambar 1 menunjukkan bahwa dalam sampel karbon aktif terdapat kelimpahan unsur Si, C, dan O. Data tersebut menunjukkan presentasi massa pada karbon sebelum aktivasi lebih banyak mengandung unsur Si, pada perbandingan 1:1 jumlah unsur Si telah banyak berkurang, namun masih mengandung 0.97% Si dan pada perbandingan 1:3 telah bebas dari unsur Si. Hasil analisis menunjukkan bahwa sampel tersusun atas atom Si, C, dan O. Data hasil analisis elementer menggunakan EDX dapat dilihat pada Tabel 1.

**Tabel 1.** Komposisi unsur (% massa) menggunakan EDX dari karbon aktif

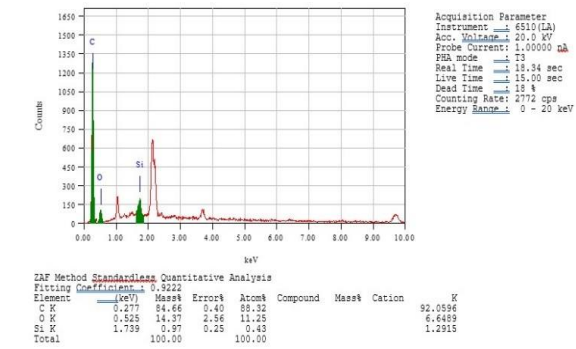
Perbandingan karbon aktif dengan NaOH	Unsur (% massa)		
	Silika (Si)	Carbon (C)	Oksigen (O)
Sebelum	43.19	30.35	26.46
1:1	0.97	84.66	14.37
1:2	0.24	83.71	16.04
1:3	0	93.29	6.71

Data pada Tabel 1 menunjukkan bahwa karbon hasil ekstraksi dengan pengaktifan NaOH berhasil mengurangi jumlah silika hingga 42.22% pada perbandingan mol karbon:NaOH 1:1. Dalam ekstraksi dengan perbandingan 1:2 tidak cukup baik untuk menghilangkan seluruh silika, terlihat masih menyisakan silika sebesar 0.11%, sedangkan pada perbandingan mol karbon:NaOH 1:3 berhasil menghilangkan unsur silika hingga 0%.

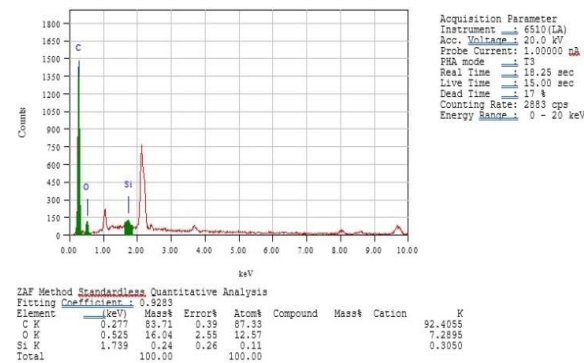
Morfologi permukaan dan ukuran pori sampel karbon hasil ekstraksi dapat dilihat pada Gambar 2.



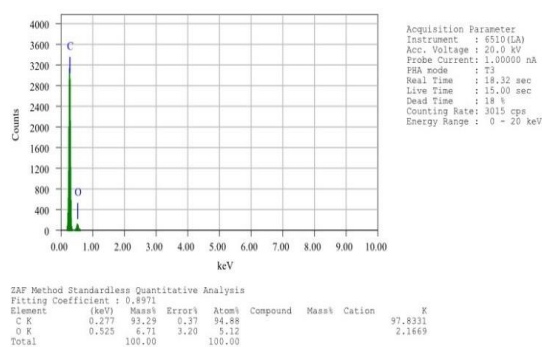
(a)



(b)

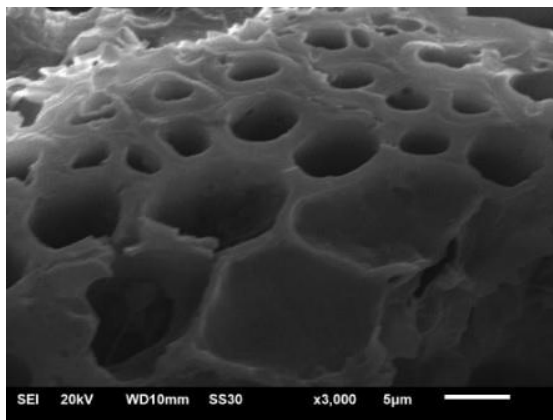


(c)



(d)

**Gambar 1.** Hasil uji karbon aktif (a). sebelum perlakuan, (b). perbandingan mol karbon:NaOH 1:1, (c). Perbandingan mol karbon:NaOH 1:2, (d).Perbandingan mol karbon:NaOH 1:3

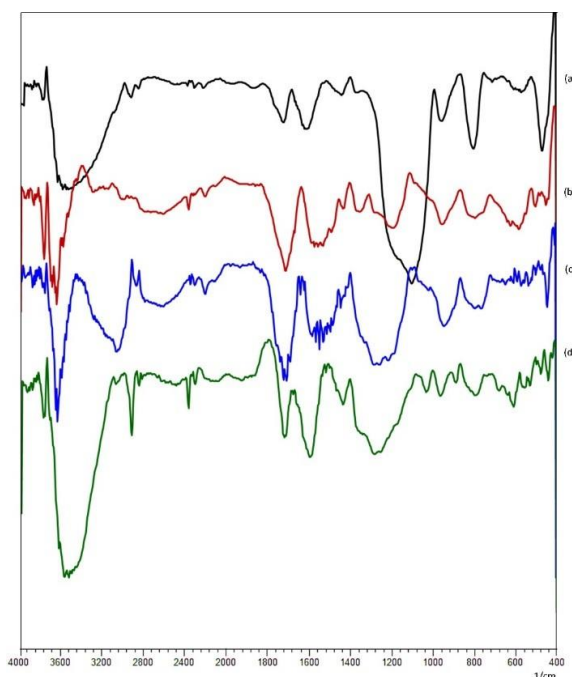


**Gambar 2.** Morfologi permukaan karbon aktif bebas silika menggunakan SEM

Hasil analisis karbon dengan SEM yang dilakukan pada perbesaran 3000 kali menunjukkan struktur permukaan karbon berpori dan berongga dengan diameter pori rata-rata 4  $\mu\text{m}$

### Analisis gugus fungsi menggunakan FTIR

Selanjutnya karbon yang didapatkan dikarakterisasi menggunakan instrumen FTIR untuk mengetahui gugus fungsi apa saja yang terdapat dalam sampel karbon dengan bilangan gelombang 500 - 4000  $\text{cm}^{-1}$ . Gambar sekam padi yang didapatkan menggunakan FTIR dapat dilihat pada Gambar 3.



**Gambar 3.** Spektrum IR karbon aktif (a). karbon aktif sebelum perlakuan, (b). karbon aktif dengan penambahan NaOH 1:1, (c). karbon aktif dengan perbandingan 1:2, (d). karbon aktif dengan perbandingan 1:3

Hasil karakterisasi keempat sampel tersebut menunjukkan beberapa persamaan dan perbedaan di beberapa bilangan gelombang. Puncak pada bilangan gelombang 3400-3600  $\text{cm}^{-1}$  dengan intensitas yang semakin tinggi menunjukkan adanya persamaan dari keempat sampel yang diuji yaitu adanya *stretching* ikatan (O-H) pada senyawa karbon. Puncak dengan intensitas menengah pada bilangan gelombang 1695-1725  $\text{cm}^{-1}$  yang dimiliki oleh keempat sampel menunjukkan *stretching* ikatan karbonil (-C=O-) yang terdapat dalam karbon. Puncak pada bilangan gelombang 1590-1630  $\text{cm}^{-1}$  yang dimiliki oleh keempat sampel dengan intensitas rendah menunjukkan adanya *stretching* ikatan (-C=C-



). Puncak pada bilangan gelombang sekitaran  $1100\text{ cm}^{-1}$  dengan instensitas tinggi menunjukkan adanya vibrasi tekuk (*bending*) pada ikatan (Si-O-Si) dalam senyawa karbon.

Adanya perbedaan pada Gambar 3 (a,b,c, dan d) terlihat jelas pada bilangan gelombang disekitar  $1100\text{ cm}^{-1}$ . Hal tersebut berarti bahwa terjadi penurunan jumlah silika setelah diaktifkan dengan NaOH. Sehingga semakin tinggi konsentrasi NaOH maka semakin banyak silika yang hilang.

### Analisis karbon aktif menggunakan SAA

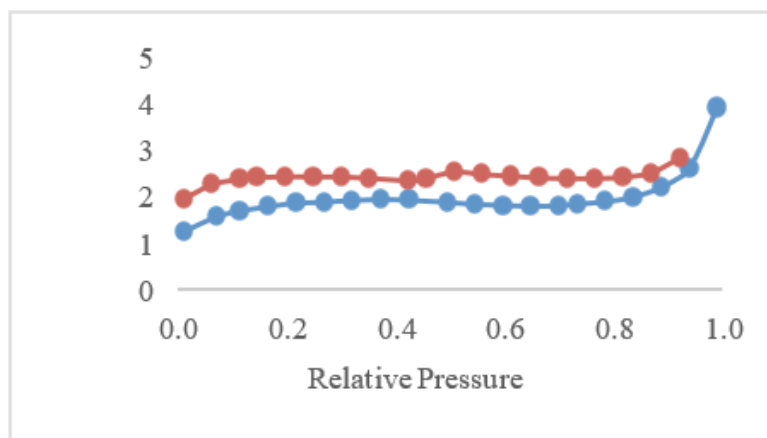
Untuk mengetahui luas permukaan dan distribusi porinya, karbon aktif bebas silika dikarakterisasi menggunakan SAA (*Surface Area Analyzer*).

Tabel 2 menunjukkan hasil pengukuran BET pada karbon aktif bebas silika. Material karbon aktif bebas silika memiliki *surface area* BET sebesar  $6.0018\text{ m}^2\text{g}^{-1}$ , dengan internal *surface* sebesar  $3.0513\text{ m}^2\text{g}^{-1}$  dan *external surface* sebesar  $2.9505\text{ m}^2\text{g}^{-1}$ .

**Tabel 2.** Hasil karakterisasi dengan menggunakan SAA

Sampel	SBET $\text{m}^2\text{g}^{-1}$	Seks $\text{m}^2\text{g}^{-1}$	Sint $\text{m}^2\text{g}^{-1}$
Karbon Aktif	6.0018	2.9505	3.0513

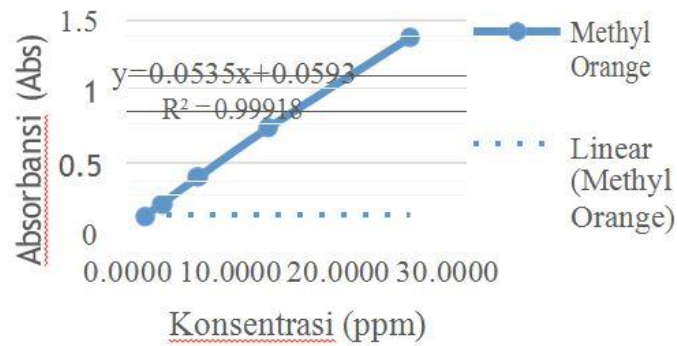
Gambar 4 merupakan pola adsorpsi-desorpsi dari karbon aktif hasil ekstraksi. Kurva tersebut menunjukkan pola isoterm tipe I. Pola adsorpsi-desorpsi pada karbon aktif bebas silika menunjukkan material tersebut memiliki ukuran pori mikroporus, dan memiliki permukaan eksternal yang relatif kecil.



**Gambar 4.** Pola Isoterm adsorpsi-desorpsi dengan  $\text{N}_2$

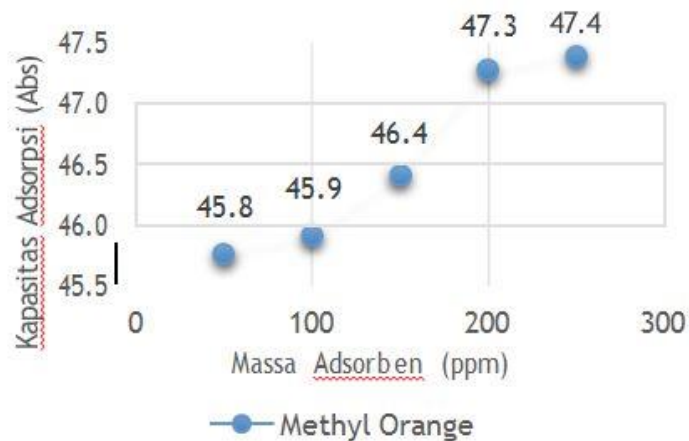
### Hasil uji adsorpsi methyl orange terhadap karbon aktif

Uji adsorpsi terhadap *methyl orange* dilakukan pada karbon aktif untuk mengetahui potensinya sebagai penyerap limbah zat warna. Uji adsorpsi dilakukan dengan menggunakan variasi massa adsorben untuk mengetahui berapakah perbandingan massa karbon aktif bebas silika yang paling optimum dalam menyerap *methyl orange*. Massa adsorben divariasikan mulai 50, 100, 150, 200 dan 250 mg dengan volume larutan zat warna *methyl orange* 50 ppm sebanyak 15 mL dalam waktu kontak 15 menit. Untuk mengetahui massa adsorben optimal pada sampel, sebelumnya dibuat kurva kalibrasi yang dilihat pada Gambar 5.



**Gambar 5.** Kurva kalibrasi molaritas larutan *methyl orange* dengan absorbansi

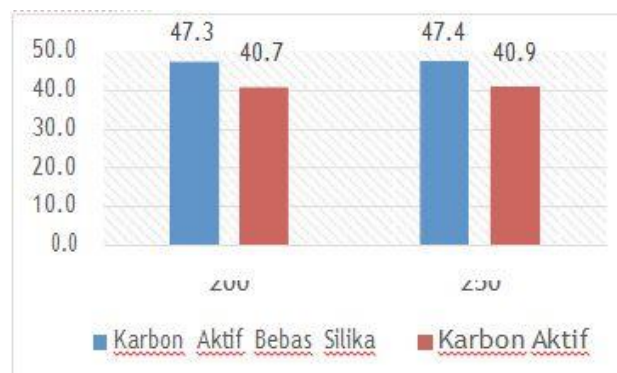
Persamaan regresi yang diperoleh  $y = 0,0535x + 0,0593$  merupakan persamaan dari kurva kalibrasi yang dapat digunakan untuk menghitung zat warna yang teradsorpsi pada sampel sehingga dapat diketahui massa adsorben optimal dan maksimal. Hasil yang didapatkan, kemudian dibuat kurva untuk menghubungkan massa adsorben dengan zat yang teradsorpsi seperti pada Gambar 6.



**Gambar 6.** Kurva hubungan massa adsorben dengan zat warna *methyl orange*

Menurut Sumarni, penambahan massa adsorben memperbesar daya serap adsorbat. Hal itu disebabkan karena semakin banyak massa adsorben, semakin banyak gugus aktif yang terdapat pada adsorben sehingga dapat menaikkan molekul adsorbat yang terserap. Pada Gambar 6 massa adsorben optimal terjadi pada massa 200 mg dan massa adsorben maksimum terjadi pada massa 250 mg.

Untuk mengetahui keunggulan daya serap karbon yang bebas silika dibanding karbon aktif yang mengandung silika dilakukan uji perbandingan kedua karbon aktif tersebut dan didapatkan hasil pada Gambar 7.



**Gambar 7.** Perbandingan adsorpsi *methyl orange* terhadap karbon aktif bebas silika dan karbon aktif



Berdasarkan Gambar 7 diketahui bahwa karbon yang telah bebas silika dapat menyerap zat warna *methyl orange* lebih banyak dibanding karbon yang masih mengandung silika.

## Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian ekstraksi karbon aktif bebas silika dari arang sekam padi, maka diperoleh kesimpulan yaitu:

1. Telah berhasil didapatkan ekstrak karbon aktif bebas silika pada perbandingan mol NaOH 1:3.
2. Ukuran pori karbon memiliki diameter rata-rata sebesar 4  $\mu\text{m}$  dan termasuk ke dalam ukuran mikropori.
3. Ukuran luas permukaan yang didapatkan pada saat pengujian menggunakan SAA sebesar 6.0018  $\text{m}^2\text{g}^{-1}$ .
4. Uji adsorpsi zat warna methyl orange didapatkan massa adsorben optimum sebesar 200 mg dan maksimum sebesar 250 mg.

## Daftar Pustaka

- Cavallo, A., & Dino, G. A. (2022). Extractive Waste as a Resource: Quartz, Feldspars, and Rare Earth Elements from Gneiss Quarries of the Verbano-Cusio-Ossola Province (Piedmont, Northern Italy). *Sustainability*, 14(8), 4536. <https://doi.org/10.3390/su14084536>
- Gou, Z., Hopla, G. A., Yao, M., Cui, B., Su, Y., Rinklebe, J., Sun, C., Chen, G., Ma, N. L., & Sun, Y. (2022). Removal of dye pollution by an oxidase derived from mutagenesis of the Deuteromycete *Myrothecium* with high potential in industrial applications. *Environmental Pollution*, 310, 119726. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2022.119726>
- Gürses, A., Güneş, K., ŞahinE., & Açıkyıldız, M. (2023). Investigation of the removal kinetics, thermodynamics and adsorption mechanism of anionic textile dye, Remazol Red RB, with powder pumice, a sustainable adsorbent from waste water. *Frontiers in Chemistry*, 11. <https://doi.org/10.3389/fchem.2023.1156577>
- Higueras, P. L., Sáez-Martínez, F. J., Lefebvre, G., & Moilleron, R. (2018). Contaminated sites, waste management, and green chemistry: new challenges from monitoring to remediation. *Environmental Science and Pollution Research*, 26(4), 3095–3099. <https://doi.org/10.1007/s11356-018-3564-z>
- Iftikhar, S., Zahra, N., Rubab, F., Sumra, R. A., Khan, M. B., Abbas, A., & Jaffari, Z. H. (2023). Artificial neural networks for insights into adsorption capacity of industrial dyes using carbon-based materials. *Separation and Purification Technology*, 326, 124891–124891. <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2023.124891>
- Jagiello, Z., Corsini, M., Dylewski, Ł., Ibáñez-Álamo, J. D., & Szulkin, M. (2022). The extended avian urban phenotype: anthropogenic solid waste pollution, nest design, and fitness. *Science of the Total Environment*, 838, 156034. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.156034>
- Khoshsepehr, Z., Alinejad, S., & Alimohammadlou, M. (2023). Exploring industrial waste management challenges and smart solutions: An integrated hesitant fuzzy multi-criteria decision-making approach. *Journal of Cleaner Production*, 420, 138327. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.138327>
- Kordi, M., Farrokhi, N., Pech-Canul, M. I., & Ahmadikhah, A. (2023). Rice Husk at a Glance: From Agro-Industrial to Modern Applications. *Rice Science*. <https://doi.org/10.1016/j.rsci.2023.08.005>
- Noirbent, G., Pigot, C., Bui, T.-T., Peralta, S., Nechab, M., Gignes, D., & Dumur, F. (2021). Dyes with tunable absorption properties from the visible to the near infrared range: 2,4,5,7-Tetranitrofluorene (TNF) as a unique electron acceptor. *Dyes and Pigments*, 189, 109250. <https://doi.org/10.1016/j.dyepig.2021.109250>

- Nyashina, G. S., Shlegel, N. E., Vershinina, K. Yu., & Strizhak, P. A. (2018). Industrial Waste as Part of Coal–Water Slurry Fuels. *Energy & Fuels*, 32(11), 11398–11410. <https://doi.org/10.1021/acs.energyfuels.8b02826>
- Samsalee, N., Meerasri, J., & Sothornvit, R. (2023). Rice husk nanocellulose: Extraction by high-pressure homogenization, chemical treatments and characterization. *Carbohydrate Polymer Technologies and Applications*, 6, 100353. <https://doi.org/10.1016/j.carpta.2023.100353>
- Serban, G. V., Iancu, V. I., Dinu, C., Tenea, A., Vasilache, N., Cristea, I., Niculescu, M., Ionescu, I., & Chiriac, F. L. (2023). Removal Efficiency and Adsorption Kinetics of Methyl Orange from Wastewater by Commercial Activated Carbon. *Sustainability*, 15(17), 12939. <https://doi.org/10.3390/su151712939>
- Sun, Q., Li, Y., Su, Y., Wei, M., Li, H., & Liu, J. (2023). Determination of restricted dyes in textile raw material solid wastes by ultra-high performance liquid chromatography-tandem mass spectrometry. *Journal of Chromatography A*, 1711, 464447–464447. <https://doi.org/10.1016/j.chroma.2023.464447>
- Valentini, F., Cerza, E., Campana, F., Marrocchi, A., & Vaccaro, L. (2023). Efficient synthesis and investigation of waste-derived adsorbent for water purification. Exploring the impact of surface functionalization on methylene blue dye removal. *Bioresource Technology*, 390, 129847–129847. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2023.129847>
- Wu, L., Liu, X., Lv, G., Zhu, R., Tian, L., Liu, M., Li, Y., Rao, W., Liu, T., & Liao, L. (2021). Study on the adsorption properties of methyl orange by natural one-dimensional nano-mineral materials with different structures. *Scientific Reports*, 11(1), 10640. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-90235-1>