

EKSTRAKSI KARBON AKTIF BEBAS SILIKA DARI ARANG SEKAM PADI UNTUK ADSORPSI ZAT WARNA METHYL ORANGE

Djoko Hartanto^{1, a)}, Yusmaniar^{2, b)}, Erdawati^{3, c)}

1,2,3 Program Studi Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Jakarta, Gedung KH. Asj'arie, Jl. Rawamangun Muka, 13220, Jakarta, Indonesia

^{c)} yusmaniar@unj.ac.id

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 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 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.

1. Pendahuluan

Limbah industri semakin bertambah banyak seiring dengan pesatnya perkembangan industri, baik volume maupun jenisnya. 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. Akibatnya beban pencemaran lingkungan semakin berat, sedangkan kemampuan alam untuk menerima beban limbah terbatas. Jenis limbah industri banyak macamnya tergantung bahan baku dan proses yang digunakan oleh masing-masing industri. Salah satu masalah yang paling mengganggu dari limbah industri tersebut adalah kandungan zat warna [1].

Zat warna merupakan gabungan dari zat organik tidak jenuh dengan kromofor sebagai pembawa warna dan aoksokrom sebagai pengikat warna dengan serat [1]. 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. 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 $1,58 \times 0,65 \times 0,26 \text{ nm}^3$. 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 [2], koagulasi dan flokulasi [3], dan adsorpsi [4]. Metode adsorpsi merupakan salah satu cara yang efisien dan efektif untuk proses penghilangan zat warna. 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 [5] dan biaya produksi relatif murah karena bahan baku pembuatan karbon aktif dapat berasal dari limbah biomassa [6].

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. Sejumlah karbon aktif dari biomassa yang dapat digunakan sebagai adsorben yaitu tempurung kenari [7], cangkang kelapa sawit, batang pisang [8], ampas tebu [9], kulit durian [10], 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. Selama ini sekam padi hanya digunakan sebagai bahan bakar untuk pembakaran bata merah, pembakaran untuk memasak, atau dibuang begitu saja. Sekam padi umumnya mengandung lebih dari 50% silika (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% [11]. 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% [12]. 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.

2. Metodologi Penelitian

a. 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

b. 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⁻ bersih yang ditandai dengan hasil pengujian larutan AgNO₃ 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*)

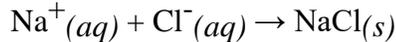
c. Uji adsorpsi zat warna *Methyl Orange*

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.

3. Hasil dan Pembahasan

a. 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⁺ menjadi NaCl yang larut dalam air. Reaksi yang terjadi adalah sebagai berikut:



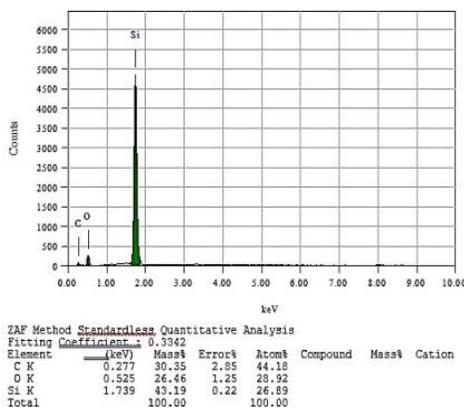
Setelah campuran disaring, endapan karbon aktif yang didapatkan dibilas dengan aqua DM untuk menghilangkan pengotor ion Cl⁻ yang terdapat dalam endapan karbon aktif. Pembuktian tidak adanya ion Cl⁻ dalam endapan karbon aktif dilakukan secara kualitatif menggunakan larutan AgNO₃ 1 M dengan ditandai tidak munculnya endapan putih (AgCl) pada filtrat. Reaksi pengendapan ion Cl⁻ oleh larutan AgNO₃ adalah sebagai berikut:



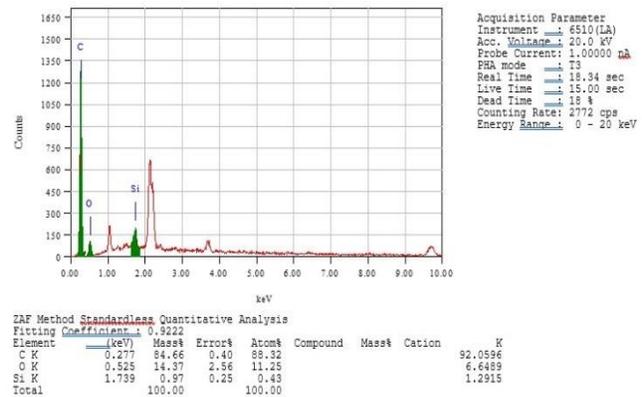
Endapan karbon aktif selanjutnya dipanaskan dalam oven selama 4 jam pada suhu 100°C untuk menghilangkan kandungan airnya. Karbon yang dihasilkan selanjutnya dihaluskan dengan ayakan 120 mesh sehingga didapatkan sekam padi berbentuk bubuk halus.

b. Analisis menggunakan SEM EDX

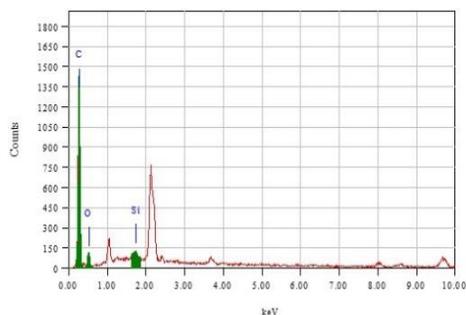
Sampel karbon hasil ekstraksi dikarakterisasi menggunakan instrument SEM-EDX untuk mengetahui kadar kandungan silika dalam karbon aktif.



(a)



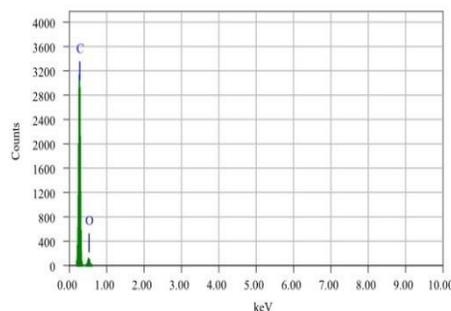
(b)



Acquisition Parameter
 Instrument : 6510 (LA)
 Acc. Voltage : 20.0 KV
 Probe Current : 1.00000 nA
 PHA mode : T3
 Real Time : 18.25 sec
 Live Time : 15.00 sec
 Dead Time : 17 %
 Counting Rate: 2883 cps
 Energy Range : 0 - 20 keV

ZAF Method Standardless Quantitative Analysis
 Fitting Coefficient : 0.9283

| Element | (keV) | Mass% | Error% | Atom% | Compound | Mass% | Cation |
|---------|-------|--------|--------|--------|----------|---------|--------|
| C K | 0.277 | 83.71 | 0.39 | 87.33 | | 92.4055 | K |
| O K | 0.525 | 16.04 | 2.55 | 12.57 | | 7.2895 | K |
| Si K | 1.739 | 0.24 | 0.26 | 0.11 | | 0.3050 | K |
| Total | | 100.00 | | 100.00 | | | |



Acquisition Parameter
 Instrument : 6510 (LA)
 Acc. Voltage : 20.0 KV
 Probe Current : 1.00000 nA
 PHA mode : T3
 Real Time : 18.32 sec
 Live Time : 15.00 sec
 Dead Time : 18 %
 Counting Rate: 3015 cps
 Energy Range : 0 - 20 keV

ZAF Method Standardless Quantitative Analysis
 Fitting Coefficient : 0.8971

| Element | (keV) | Mass% | Error% | Atom% | Compound | Mass% | Cation |
|---------|-------|--------|--------|--------|----------|---------|--------|
| C K | 0.277 | 93.29 | 0.37 | 94.88 | | 97.8331 | K |
| O K | 0.525 | 6.71 | 3.20 | 5.12 | | 2.1689 | K |
| Total | | 100.00 | | 100.00 | | | |

(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

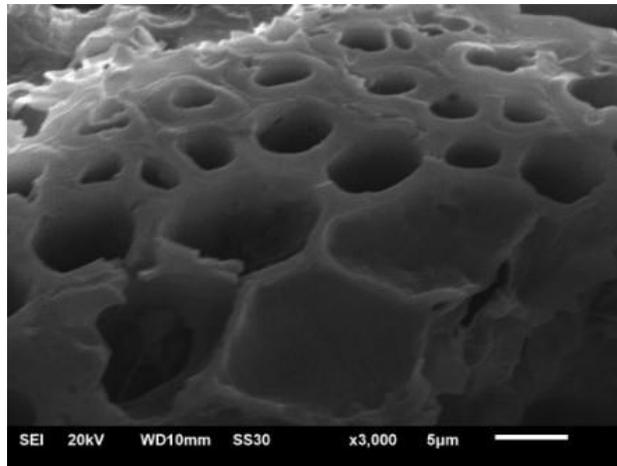
Gambar 1 menunjukkan bahwa dalam sampel karbon aktif terdapat kelimpahan unsur Si, C, dan O. Data tersebut menunjukkan presentasi massa pada karbon sebelum aktivasi lebih banyak mengandung unsur Si, pada perbandingan 1:1 jumlah unsur Si telah banyak berkurang, namun masih mengandung 0,97% Si dan pada 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.

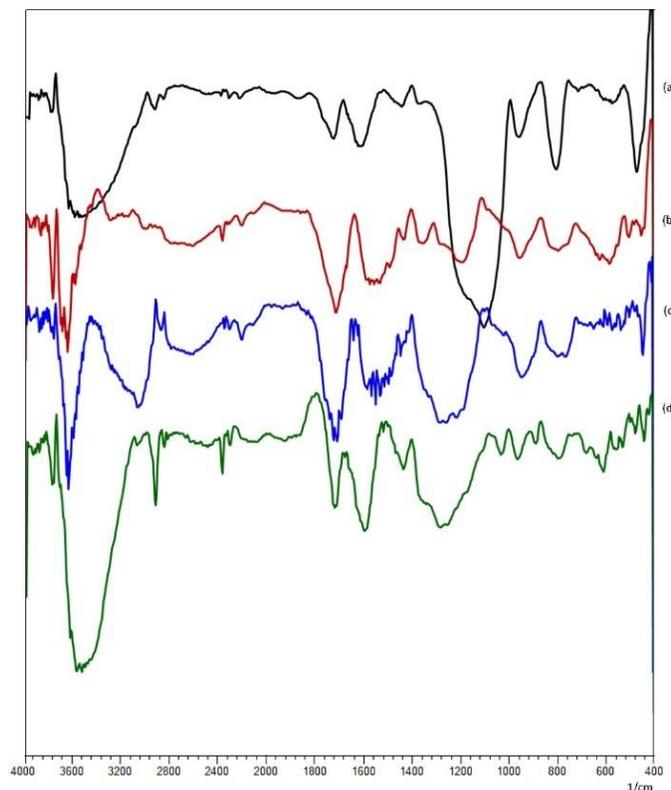


Gambar 2 Morfologi permukaan karbon aktif bebas silika menggunakan SEM

Hasil analisis karbon dengan SEM yang dilakukan pada perbesaran 3000 kali menunjukkan struktur permukaan karbon berpori dan berongga dengan diameter pori rata-rata 4 μm

c. 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 cm^{-1} . Gambar spektrum IR 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 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 cm^{-1} yang dimiliki oleh keempat sampel menunjukkan *stretching* ikatan karbonil (-C=O-) yang terdapat dalam karbon. Puncak pada bilangan gelombang 1590-1630 cm^{-1} yang dimiliki oleh keempat sampel dengan intensitas rendah menunjukkan adanya *stretching* ikatan (-C=C-). Puncak pada bilangan gelombang sekitaran 1100 cm^{-1} dengan intensitas 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 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.

d. Analisis karbon aktif menggunakan SAA

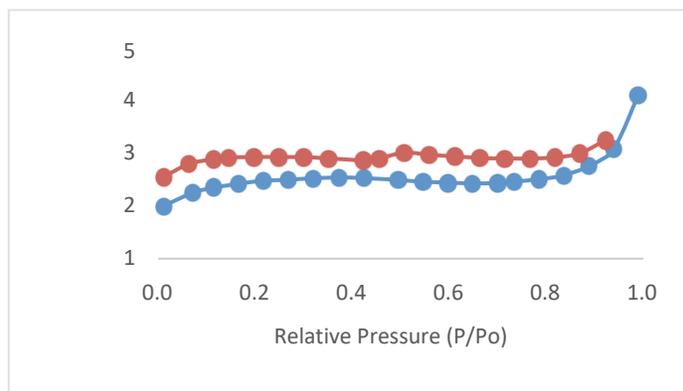
Untuk mengetahui luas permukaan dan distribusi porinya, karbon aktif bebas silika dikarakterisasi menggunakan SAA (*Surface Area Analyzer*).

Tabel 2 menunjukkan hasil pengukuran BET pada karbon aktif bebas silika. Material karbon aktif bebas silika memiliki *surface area* BET sebesar 6,0018 m^2g^{-1} , dengan *internal surface* sebesar 3,0513 m^2g^{-1} dan *external surface* sebesar 2,9505 m^2g^{-1} .

Tabel 2. Hasil karakterisasi dengan menggunakan SAA

| Sampel | S_{BET} $\text{m}^2 \text{g}^{-1}$ | S_{eks} $\text{m}^2 \text{g}^{-1}$ | S_{int} $\text{m}^2 \text{g}^{-1}$ |
|--------------|---|---|--------------------------------------|
| 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.

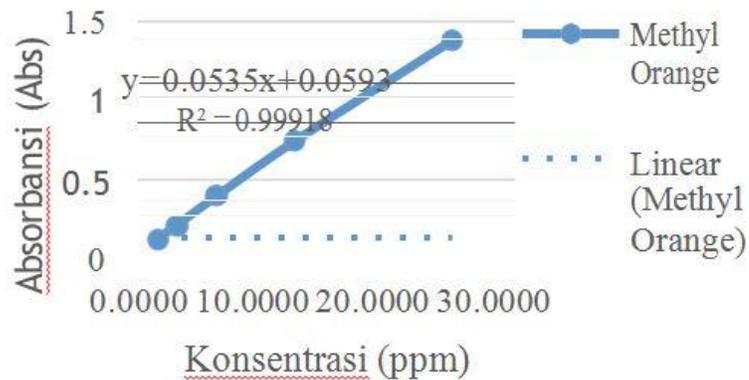


Gambar 4. Pola Isoterm adsorpsi-desorpsi dengan N_2

e. Hasil uji adsorpsi *methyl orange* terhadap karbon aktif

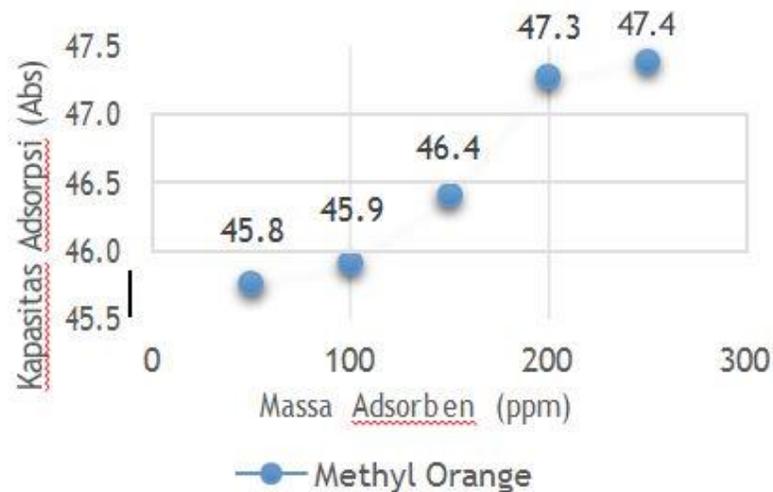
Uji adsorpsi terhadap *methyl orange* dilakukan pada karbon aktif untuk mengetahui

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

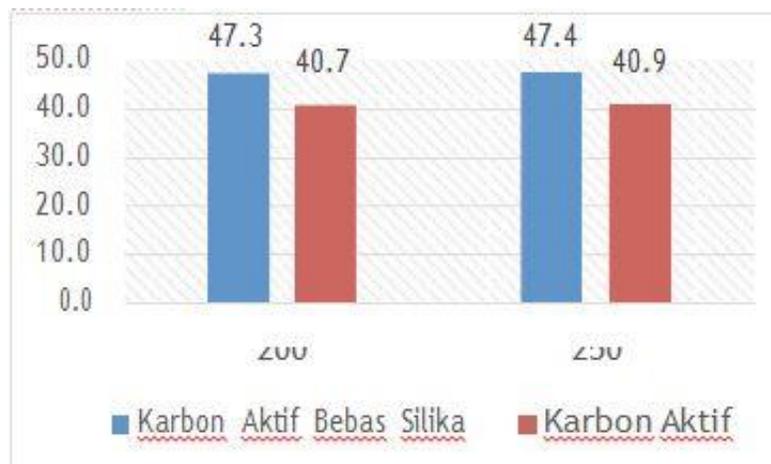
Persamaan regresi yang diperoleh $y = 0,0535x + 0,0593$ merupakan persamaan dari kurva kalibrasi yang dapat digunakan untuk menghitung zat warna yang teradsorpsi pada sampel sehingga dapat diketahui massa adsorben optimal dan maksimal. Hasil yang didapatkan, kemudian dibuat kurva untuk menghubungkan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



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

Menurut Sumarni [13], 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.

4. 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 μm dan termasuk ke dalam ukuran mikropori.
3. Ukuran luas permukaan yang didapatkan pada saat pengujian menggunakan SAA sebesar 6,0018 m^2g^{-1} .
4. Uji adsorpsi zat warna methyl orange didapatkan massa adsorben optimum sebesar 200 mg dan maksimum sebesar 250 mg.

Daftar Pustaka

- [1] Pratiwi E. Perbandingan Metode Maserasi, Remaserasi, Perkolasi dan Reperkolasi dalam Ekstraksi Senyawa Aktif Andrographolide dari Tanaman Sambiloto (*Andrographis paniculata* (Burm. F.) Nees). Skripsi). Bogor: Institut Pertanian Bogor. 2010.
- [2] Vaiano V, Sacco O, Sannino D, Ciambelli P. Nanostructured N-doped TiO₂ coated on glass spheres for the photocatalytic removal of organic dyes under UV or visible light irradiation. *Applied Catalysis B: Environmental*. 2015 Jul 1;170:153-61.
- [3] Saitoh T, Saitoh M, Hattori C, Hiraide M. Rapid removal of cationic dyes from water by coprecipitation with aluminum hydroxide and sodium dodecyl sulfate. *Journal of Environmental Chemical Engineering*. 2014 Mar 1;2(1):752-8
- [4] Weber CT, Collazzo GC, Mazutti MA, Foletto EL, Dotto GL. Removal of hazardous pharmaceutical dyes by adsorption onto papaya seeds. *Water Science and Technology*. 2014 Jul 1;70(1):102-7.
- [5] Worch E. Adsorption technology in water treatment: fundamentals, processes, and modeling. Walter

de Gruyter; 2012 Aug 31.

- [6] Andreas A. Sintesis Karbon Aktif dari Kulit Salak Aktivasi Kimia-Senyawa KOH sebagai Adsorben Proses Adsorpsi Zat Warna Metilen Biru. In Seminar Nasional Teknik Kimia Kejuangan 2015 Apr 20 (pp. 3-1)
- [7] Edwin, E., Sherly., Liang, S., dan Taba, P. 2005. Pemanfaatan Karbon Aktif Tempurung Kenari Sebagai Adsorben Fenol dan Klorofenol dalam Perairan, *Marina Chimica Acta*, 6(1), 9-15. Fakultas MIPA Universitas Hasanuddin Makasar
- [8] SM AN. *KINETIKA ADSORPSI KARBON AKTIF DARI BATANG PISANG SEBAGAI ADSORBEN UNTUK PENYERAPAN ION LOGAM Cr (VI) PADA AIR LIMBAH INDUSTRI* (Doctoral dissertation, Universitas Negeri Semarang).
- [9] Asbahani, 2013. Pemanfaatan Limbah Ampas Tebu sebagai Karbon Aktif untuk Menurunkan Kadar Besi pada Air Sumur, *Jurnal Teknil Sipil*, 13(1). Universitas Tanjungpura
- [10] Tanasale MF, Sutapa IW, Topurtawy RR. Adsorption of Rhodamine B Dye By Active Carbon From Durian Shell (*Durio zibethinus*). *Indo. J. Chem. Res.*. 2014;2(1):116-23.
- [11] Selvanathan N, Subki NS, Sulaiman MA. Dye adsorbent by activated carbon. *J. Trop. Resour. Sustain. Sci.* 2015;3(1):169- 73.
- [12] Malekmohammadi S, Mirbagheri A, Ehteshami M. Comparison of silica, activated carbon, and zeolite adsorbents in the removal of ammonium, iron, COD, turbidity and phosphate pollutants, and investigating the effect of discharge on the removal of pollutants. *International Journal of Humanities and Cultural Studies (IJHCS)* ISSN 2356-5926. 2016 Sep 11;3(2).
- [13] Sumarni, Woro. 1993. *Studi Penggunaan Jerami Padi untuk Menghilangkan Ion-Ion Logam Berat Cu(II), Cd(II), Cr(IV) dari dalam Air*. Tesis. Semarang: UNNES