

Kajian Konsentrasi Aktivator KOH Terhadap Kapasitas Adsorpsi dan Luas Permukaan Karbon Tempurung Kluwak pada Penjerapan *Methylene blue*

KOH Activator Concentration Study on The Capacity and Surface Area of Kluwak Carbon for Methylene Blue Adsorption

Yuliani HR^{1*}, Abigael Todingbu'a², Dewi Astuti Herawati³, Haera Setiawati⁴, Andi Musfirah Adhar⁵, Isma Ayu Ningsih Putri Zainal⁶, Ida Adriani Idris⁷

^{1,2,4,5,6,7}Program Studi D3 Teknik Kimia, Jurusan Teknik Kimia, Politeknik Negeri Ujung Pandang, Makassar

Jl. Perintis Kemerdekaan Km 10 Tamalanrea Makassar-90112

³Program Studi S1 Teknik Kimia, Fakultas Teknik Universitas Setia Budi Surakarta

Jln. Letjen Sutoyo-Mojosongo Surakarta-57127 Telp. 0271-852578

*Corresponding Author: yulianihr@poliupg.ac.id

ABSTRAK: Penelitian ini bertujuan mengetahui pengaruh konsentrasi KOH terhadap kinerja adsorben berupa kapasitas adsorpsi dan luas permukaan karbon tempurung kluwak (KTK) pada penjerapan *methylene blue* (MB). Variabel penelitian yaitu variasi KOH 0, 1, 3 dan 5M, konsentrasi MB 80,90,100,120, 130, 140 dan 150 ppm pada proses adsorpsi suhu 30°C, volume MB 50 ml, jumlah KTK ativasi dan tanpa aktivasi 0.15 gram dishaker selama 1.5 jam dengan kecepatan 350 rpm. Larutan disaring untuk memisahkan filtrat dengan KTK (adsorben) selanjutnya filtranya diukur absorbansi menggunakan spektrometri UV-VIS pada Panjang gelombang 662 nm diperoleh absorbansi kemudian dikonversi mengguankan kurva standar didapatkan konsentrasi MB setimbang. Data hasil pengujian dihitung luas permukaan (A) metode adsorpsi MB pada 126 ppm dan kapasitas adsorpsi (qm) menggunakan persamaan Langmuir. Hasil penelitian menunjukkan bahwa aktivasi dapat meningkatkan kinerja adsorben dan semakin meningkatnya konsentrasi KOH maka kapasitas adsorpsi dan luas permukaan KTK meningkat. Aktivasi KTK pada 5 M merupakan hasil tertinggi dengan A sebesar 151.71m²/g dan qm yaitu 47.05 mg/g dibandingkan KTK tanpa aktivasi berupa luas permukaan 70.37 m²/g dan kapasitas adsorpsi senilai 15.27 mg/g.

Kata kunci : tempurung kluwak; kapasitas; luas permukaan

ABSTRACT: This study aims to determine the effect of KOH concentration on adsorbent performance in the form of adsorption capacity and the surface area of the kluwak shell carbon (CSK) on the uptake of methylene blue (MB). The research variables were variations of KOH 0, 1, 3 and 5M, MB concentrations 80,90,100,120, 130, 140 and 150 ppm at the adsorption process at 30 oC, MB volume 50 ml, the number of activated CSK and without activation 0.15 grams was shaken for 1.5 hours with speed 350 rpm. The solution was filtered to separate the filtrate and the CSK (adsorbent), the absorbance was then measured using the UV-VIS spectrometric at a wavelength of 662 nm, then the absorbance was obtained and then converted using a standard curve to obtain a balanced MB concentration. The test result data was calculated the surface area (A) of the MB adsorption method at 126 ppm and the adsorption capacity (qm) using the Langmuir equation. The results showed that activation could improve the adsorbent performance and the increasing KOH concentration would increase the adsorbent capacity and CSK surface area. CSK activation at 5 M was the highest results then others with A of 151.71m²/g and qm of 47.05 mg /g compared to CSK without activation in the form of surface area of 70.37 m²/g and adsorption capacity of 15.27 mg /g.

Keywords : kluwak shell; capacity; surface area

1. PENDAHULUAN

Kluwak atau kepayang memiliki nama latin *pangium edule* merupakan tanaman yang memiliki batang sebagai bahan bakar korek api, buah digunakan sebagai bumbu masakan rawon dan cangkang atau tempurung menjadi limbah lingkungan. Tempurung biji kluwak berwarna coklat dengan garis-garis menonjol dan melingkar indah, terdiri dari beberapa komponen berupa selulosa, hemiselulosa dan lignin. Selulosa merupakan senyawa organik dengan rumus $(C_6H_{10}O_5)_n$ yang terdapat pada dinding sel dan berfungsi untuk mengokohkan struktur (Arif, et al., 2015). Tempurung kluwak juga memiliki karbon terikat yang tinggi sehingga dapat dijadikan karbon aktif. Penelitian Kurniasari & Gloriana (2020), hasil XRD tempurung kluwak mengandung Ca 28.32 (m/m %) dan arang tempurung kluwak aktivator H_3PO_4 11% mengalami peningkatan Ca yaitu 39.27 (m/m %) yang digunakan dalam menyerap asam lemak bebas pada minyak jelantah.

Methylene Blue (MB) rumus kimia $C_{16}H_{18}ClN_3S \cdot xH_2O$, berat molekul 319,86 g/mol (anhidrat) merupakan zat warna yang digunakan sebagai pewarna pada tekstil, kulit, kain mori dan kain katun serta harganya murah. MB juga digunakan sebagai reagen analisis. MB merupakan kategori bahan kimia yang toksik akut, berbahaya jika ditelan, selain itu memberikan efek ketika dihirup yaitu pusing dan sesak, serta mual maupun

muntah (Anonim, 2019). Adsorpsi *methylene blue* telah banyak dilakukan untuk menentukan kapasitas adsorpsi karbon aktif. Penelitian bertujuan untuk mengetahui kemampuan arang aktif untuk menyerap larutan berwarna dan menentukan luas permukaan pori karbon aktif. Kemampuan mengadsorpsi *methylene blue* menjadi salah satu ukuran kualitas dari *methylene blue* yang dihasilkan di mana SNI mensyaratkan kemampuan minimal menyerap adalah 120 mg/g untuk serbuk karbon aktif (SNI 06-3730-1995, 1995).

Tempurung kluwak memiliki karakteristik mirip tempurung kelapa serta terdapatnya selulosa, hemiselulosa, piktin, dan karbon terikat yang tinggi sehingga dapat dikarbonkan. Komposisi KTK lainnya terdapat Ca yang mengindikasikan bahwa karbon tempurung kluwak dapat dijadikan adsorben untuk menyerap adsorbat. Kinerja KTK sebagai adsorben dapat ditingkatkan melalui aktivasi KOH dengan memvariasikan konsentrasi aktivator. Pengujian KTK tanpa aktivasi dan KTK aktivasi KOH sebagai adsorben dilakukan dengan mengadsorpsi MB guna mengetahui luas permukaan adsorben dan kapasitas adsorpsi. Peningkatan kinerja KTK dapat dilakukan dengan metode aktivasi secara kimia maupun secara fisika dengan pemanasan atau kalsinasi. Pemilihan aktivasi secara kimia yaitu (1) waktu yang dibutuhkan lebih pendek (2) *yield* didapatkan lebih tinggi, (3) daya adsorpsi lebih besar (Armandi, 2008).

Beberapa jenis aktivator yang dapat digunakan H₂SO₄, NaOH, H₃PO₄ (Chen, et al., 2012), ZnCl₂ (Labannia, et al., 2015), dan KOH (Nazzala, et al., 2013)

Pemilihan aktivator KOH didasarkan pada peningkatan luas permukaan, yield serta mikroporositasnya (Iwaniec, et al., 2015).. Hal serupa juga dilaporkan oleh Bedin, et al. (2015) bahwa karbon aktif dari sukrosa komersial dengan aktivasi KOH memiliki ukuran mikropori dan luas permukaan yang besar. Penelitian yang dilakukan oleh Alif, et al. (2014) menunjukkan bahwa karbon aktif dari ampas tebu, juga dapat diukur luas permukaan menggunakan metode *methylene blue*.

Pada penelitian ini tempurung kluwak dikarbonkan dan diaktivasi menggunakan KOH dengan 3 konsentrasi aktivator selanjutnya diaplikasikan menggunakan metode adsorpsi *methylene blue*. Kinerja adsorben diuji dengan mengukur absorbansinya menggunakan spektrofotometer UV-VIS selanjutnya dihitung kapasitas maksimum (qm) adsorpsi menggunakan persamaan *Langmuir* dan luas permukaan dengan metode *methylene blue* dibandingkan dengan standar SNI karbon aktif. Kinerja adsorben berasal dari karbon tempurung kluwak (KTK) ditingkatkan melalui aktivasi menggunakan KOH pada konsentasi 1, 3 dan 5 M dan pengujian dengan menghitung % terjerap serta kapasitas maksimum adsorpsi dihitung berdasarkan model Isotherm *Langmuir* (Do, 1998) dan

diliniierkan (Knaebel, 2008). Jumlah *methylene blue* yang terjerap tiap massa adsorben pada kesetimbangan (mg/g) ditunjukkan pada Persamaan (1).

$$q_e = \frac{q_m \cdot b \cdot C_e}{1 + b \cdot C_e} \dots\dots\dots (1)$$

$$q_e = \left(\frac{C_o - C_e}{m} \right) \times V_a \dots\dots\dots (2)$$

Keterangan :

C_o : Konsentrasi awal *methylene blue* (mg/L)

C_e : Konsentrasi *methylene blue* pada kesetimbangan (mg/L)

q_m : Kapasitas adsorpsi pada monolayer (mg/g)

b : Konstanta adsorpsi (L/mg)

V_a : Volume adsorbat (mL)

Luas permukaan menggunakan metode *methylene blue* (Mulyati, 2017). pada Persamaan (3)

$$S = \frac{q_e \cdot N \cdot a}{M_r} \dots\dots\dots (3)$$

Keterangan :

q_e : Berat adsorben teradsorpsi (mg/g)

N : Bilangan Avogadro (6.022x10²³ mol⁻¹)

A : Luas penutupan oleh 1 molekul *methylene blue* (197 x 10⁻²⁰ m²)

M_r : Massa molekul relatif *methylene blue* (320.5 g/mol)

S : Luas permukaan adsorben (m²/g)

2. METODE PENELITIAN

2.1 Alat dan Bahan

Labu takar, beaker glass, erlemeyer, cawan porcelain, botol centrifuge, corong, spatula, rotary karbonisasi (rotary *killen mini*), crusher, saringan (*sieving*) timbangan analitik, oven, rotary centrifuge, magnetic stirrer,

hot plate-stirrer, *orbital shaker*, dan spektrofotometer UV-VIS Shimadzu UV-2600.

Tempurung kluwak (dari petani/paguyuban kluwak Kab. Soppeng), *methylene blue* (Merck), KOH 98% (Merck), kertas saring, dan aquadest.

2.2 Prosedur

2.2.1. Pembuatan Karbon

Tempurung kluwak dari petani dibersihkan, mencuci menggunakan air mengalir kemudian dikeringkan dengan panas matahari selama 2 hari hingga kadar air $\pm 15\%$. Tempurung yang kering kemudian dimasukkan ke dalam rotary karbonisasi kemudian di panaskan sambil diputar hingga api menyambar ke dalam rotary yang mengindikasikan bahwa proses karbon telah selesai, lalu didinginkan kemudian dikeluarkan dengan cara menuang ke wadah. Karbon selanjutnya *dicrusher* dan disaring menggunakan saringan/sieving didapatkan ukuran < 1.2 mm. Karbon siap digunakan dan diaktivasi.

2.2.2. Aktivasi

Variabel penelitian KOH 1M, 3M dan 5M Karbon tempurung kluwak direndam dalam KOH dalam beaker glas 1000 ml sesuai konsentrasi pada perbandingan 1: 4, diaduk menggunakan magnetic stirrer pada suhu 80°C selama 4 jam dan didiamkan 24 jam. Pemisahan karbon tempurung kluwak teraktivasi dengan menyaring dan cakenya dicuci

menggunakan aquadest hingga filtranya pH netral. KTKA basah dikeringkan menggunakan oven suhu 105°C . Karbon tempurung kluwak aktivasi 1M disebut KTKA-1M demikian pula KOH 3M yaitu KTKA-3M dan KOH 5M yakni KTKA-5M serta tanpa aktivasi kode KTK.

2.2.3. Pengujian

Konsentrasi *Methylene Blue*: 80, 90, 100, 110, 120, 126, 130, 140 dan 150 ppm. Larutan MB sebanyak 50 ml masing-masing dimasukkan ke dalam erlemeyer 100 ml kemudian ditambahkan 0.15 gram tempurung kluwak lalu dikocok menggunakan shaker selama 90 menit pada kecepatan 300 rpm. Larutan MB dan adsorben disentrifuge pada kecepatan 500 rpm selama 10 menit kemudian disaring. Filtrat selanjutnya diuji menggunakan Spektropotometer UV – VIS. *) Pengulangan untuk KTKA-1M, KTKA-3M dan KTKA-5M.

Filtrat hasil pengujian menunjukkan konsentrasi setimbang (C_e) MB pada berbagai konsentrasi MB pada Panjang gelombang 662 nm yakni nilai absorbansi yang dikonversi dari kurva standar.

2.3 Analisis Data

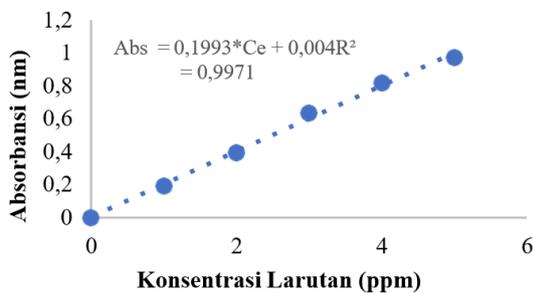
Hasil pengujian berupa konsentrasi awal (C_o) dan konsentrasi setimbang (C_e) selanjutnya diolah untuk mengetahui besarnya pengaruh aktivasi pada kapasitas maksimum (q_m) dengan persamaan Langmuir dan luas permukaan menggunakan metode *methylene blue*. Hasil perhitungan dibuat grafik untuk

mengetahui pengaruh aktivasi secara ilustrasi.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.3.1. Penentuan Kurva Standar

Kurva standar merupakan kurva yang dibuat dari sederetan larutan standar yang masih dalam batas linieritas sehingga dapat diregresilinierkan. Pembuatan kurva standar bertujuan menentukan konsentrasi awal (C_0) dan konsentrasi setimbang (C_e) pada larutan uji dengan sumbu "x" adalah konsentrasi dan sumbu "y" adalah absorbansi sehingga didapatkan persamaan $y = mx + c$. *Methylene blue* memiliki panjang gelombang 662 nm dengan pengujian konsentrasi MB 0, 1, 2, 3, 4 dan 5 ppm. Hasil pengujian didapatkan persamaan $Abs = 0.1993 \cdot Ce + 0.004$ dengan R_Square 0.9971 mendekati 1 yang mengindikasikan bahwa persamaan akurat seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Kurva Standar

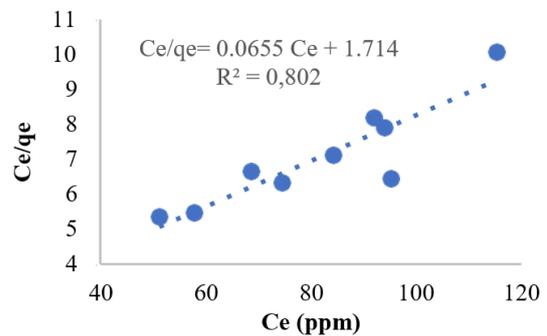
3.3.2. Penentuan Kapasitas Adsorpsi

Isoterm adsorpsi seperti diuraikan pada prosedur kerja dan hasil pengujian berupa pengukuran menggunakan

spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang 662 nm didapat absorbansi yang dikonversi menggunakan persamaan kurva standar. Hasil pengujian berupa absorbansi di konversi menjadi C_e menggunakan $C_e = (Abs - 0.004) / 0.1993$. Nilai kapasitas adsorpsi maksimum (q_m) didapatkan dengan melinierkan Persamaan (1) menjadi Persamaan (4).

$$\frac{C_e}{q_e} = \frac{1}{q_m \cdot b} + \frac{C_e}{q_m} \dots \dots \dots (4)$$

Hubungan C_e/q_e terhadap C_e ditunjukkan pada Gambar-2 dan untuk karbon tempurung kluwak (KTK) dan digunakan menentukan nilai q_m .



Gambar 2 Karbon Tempurung Kluwak Tanpa Aktivasi

Nilai q_m didapat Slope persamaan pada Gambar 2, hasil linierisasi memberikan persamaan $C_e/q_e = 0.0655 Ce + 1.714$ atau $y = mx + c$, maka slope (m), maka $q_m = 1/slope = 1/0.0655 = 15.2732$ mg/g. Besarnya nilai q_m untuk KTKA- 1M, KTKA-3M dan KTKA-5M, perhitungan dengan cara yang sama dari persamaan regresi linier dan hasil ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1 Kapasitas Adsorpsi KTK dan KTKA

No.	Perlakuan (Aktivasi KOH)	Kapasitas Adsorpsi (qm)
1	KTK	15,27
2	KTKA-1M	36,56
3	KTKA-3M	45,03
4	KTKA-5M	47,05

Tabel 1 memberikan gambaran bahwa aktivasi meningkatkan kinerja adsorben ditunjukkan dengan meningkatnya qm. Perbandingan antara kapasitas adsorpsi KTK dengan KTKA-1M yaitu 2 kali lebih besar demikian pula untuk KTKA-3M dan KTKA-5M sebesar 3 kali dari KTK. Hal ini mengindikasikan bahwa dengan aktivasi maka terbentuk pori yang baru sehingga meningkatkan kinerja adsorben dalam mengadsorpsi *methylene blue*. Pada proses aktivasi juga bertujuan menghilangkan kotoran yang menempel di permukaan karbon dan melarutkan zat *volatile* hasil karbonisasi. Aktivator KOH berperan membentuk pori baru pada karbon tempurung kluwak, semakin banyak pori yang terbentuk maka *methylene blue* terjerap akan semakin banyak pula seperti yang ditunjukkan pada Tabel 1. Semakin besar konsentrasi aktifier maka larutan akan semakin pekat sehingga larutan aktivator akan lebih mudah untuk mengikat zat pengotor berupa tar dan *volatile* hasil proses karbonisasi. Zat pengotor ini akan ikut terbuang ketika pencucian sehingga KTKA semakin bebas dan memiliki kemampuan menyerap adsorbat makin tinggi ditunjukkan dengan nilai kapasitas adsorpsi maksimum (qm) yang berbanding lurus dengan luas permukaan ditunjukkan pada Tabel 2. Menurut Hsu & Teng (2000)

bahwa peningkatan porositas juga diakibatkan oleh jumlah *impregnating agent* yang digunakan, semakin banyak aktivator digunakan akan meningkatkan pembentukan pori pada karbon aktif.

3.3.2. Penentuan Luas Permukaan

Hasil analisis luas permukaan menggunakan metode *methylene blue* sesuai persamaan (3) bahwa luas permukaan (S) KTK paling kecil dibanding KTKA-1M, KTKA-3M dan KTKA-5M seperti yang ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Luas Permukaan KTK dan KTKA

No.	Perlakuan (Aktivasi KOH)	qe (mg/g)	S (m ² /g)
1	KTK	11,46	42,54
2	KTKA-1M	32,62	121,07
3	KTKA-3M	44,73	166,02
4	KTKA-5M	44,93	166,77

Luas permukaan KTKA-5M terbesar dari luas permukaan KTK, KTKA-1M, dan KTKA-3M. Hal ini mengindikasikan bahwa daya adsorpsi KTKA-5M terhadap *methylene blue* lebih besar sehingga dapat mengukur secara efektif permukaan dari *variable* penelitian lainnya. Aktivator KOH bertujuan mengikat tar dan *volatile* hasil proses karbonisasi yang larut bersamaan air pencucian sehingga menghasilkan pori menjadikan karbon tempurung kluwak semakin bebas dari dua pengotor dan meninggalkan pori sehingga meningkatkan luas permukaan. Tabel 2 menunjukkan bahwa aktivasi KOH memberikan kenaikan luas permukaan dari 42.54 m²/g ke 121.07 m²/g pada KTKA-1M yakni ±3 kali lebih besar.

Peningkatan luas permukaan KTKA-3M juga signifikan terhadap daya serap *methylene blue* ditunjukkan pada luas permukaan sebesar 166.02 m²/g yang pada akhir relatif sama untuk perlakuan KTKA-5M. Hal ini berkaitan bahwa semakin besar konsentrasi KOH, maka sifat *dehydrating agent*nya juga semakin kuat pada jumlah tar dan *volatile* yang akan diikat cukup dengan konsentrasi KOH 3M sehingga pembentukan pori baru tidak maksimal. Penelitian Arie, et al. (2016), bahwa semakin besar konsentrasi KOH maka sifat *dehydrating agent*nya juga semakin kuat sehingga pori-pori karbon semakin terbuka. Luas permukaan dan qe baik KTKA-3M dan KTKA-5M hanya berbeda sedikit desimal sehingga relatif sama, hasil ini menunjukkan bahwa jumlah tar dan *volatile* yang diikat oleh konsentrasi 3M sempurna sehingga pori yang terbentuk sempurna mengasordpsi *methylene blue*. Pada konsentrasi KOH 5M kemungkinan terbentuk mikropori sehingga tidak maksimal penyerapan *methylene blue* atau relatif sama dengan konsentrasi KOH 3M.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dan pengujian dapat disimpulkan bahwa aktivasi KOH dapat meningkatkan kinerja adsorben. Semakin meningkatnya konsentrasi aktivator KOH maka kapasitas adsorpsi dan luas permukaan adsorben juga semakin besar. Pada KTKA-5M kapasitas adsorpsi (qm) sebesar 47.05

mg/g dan luas permukaan (S) yaitu 166.77 m²/g.

UCAPAN TERIMA KASIH

Peneliti berterima kasih kepada jurusan Teknik Kimia akan sarana dan prasana, pengrajin kluwak berupa material dan tim kecilku sebagai pelaksana yang luar biasa semangatnya.

DAFTAR PUSTAKA

- Alif, A., Zakir, M. & Maming, M., 2014. Sintesis dan Karakterisasi Karbon Nanopori Ampas Tebu (*Saccharum officinarum*) dengan Aktivator NaOH melalui Iradiasi Ultrasonik sebagai Bahan Penyimpanan Energi Elektrokimia. *Indonesia Chemica Acta*, pp. 39-46.
- Anonim, 2019. *MSDS Methylene Blue*. s.l.:Smart Lab.
- Arie, A. A., Vincent, P. & Aditya, 2016. Activated Carbons from KOH-Activation of Salacca Peels as Low Cost Potential Adsorbents for Dye Removal. *Advanced Material Letter*, pp. 226-229.
- Arif, A. R., Saleh, A. & Saokani, J., 2015. Adsorpsi Karbon Aktip dari tempurung Kluwak (*Pagium edule*) Terhadap Penurunan Etanol. *Al Kimia*, 3(UIN Alauddin Makassar), pp. 34-47.
- Armandi, M., 2008. Post-Syntesis Modifications of SBA-15 Carbon Teplicas: Improving Hydrogen Storage by Increasing Microporous Volume. *Catalysis Today*, pp. 244-248.
- Bedin, K. C. et al., 2015. KOH-Activated Carbon Prepared from Sucrose Spherical Carbon: Adsorption Equilibrium, Kinetic and Thermodynamic Studies for Methylene Blue Removal. *Chemical Engineering Journal*.

- Chen, C. X., Huang B, L. T. & Wu, G. F., 2012. Preparation of Phosphoric Acid Activated Carbon from Sugarcane Bagasse by Mechanochemical Processing. *BioResources*, pp. 5109-5166.
- Do, D., 1998. *Adsorption Analysis: Equilibrium and Kinetics*. London: Imperial College Press.
- Hsu, L.-Y. & Teng, H., 2000. Influence of Different Chemical Reagents on The Preparation of Activated Carbons from Bituminous Coal. *Fuel Process Technol*, pp. 155-166.
- Iwaniec, I. W., Díez, N. & Gryglewicz, G., 2015. Chitosan-Based Highly Activated Carbons for Hydrogen Storage. *International Journal of Hydrogen Energy*, pp. 5788-5796.
- Knaebel, K. S., 2008. *Adsorbent Selection*. Dublin, Ohio: Adsorption Research Inc.
- Kurniasari, S. H. & Gloriana, W., 2020. *Pemanfaatan Karbon Aktif Tempurung Kluwak (Pagium Edule) Pada Penurunan Kadar Asam Lemak Bebas Minyak Goreng Bekas*, Makassar: Politeknik Negeri Ujung Pandang.
- Labannia, A., La Hasan, N., Maming, M. & Zakir, M., 2015. Synthesis and Characterization of Nanoporous Carbon from Sugarcane Bagasse (Saccharum officinarum) with ZnCl₂ Activator by Ultrasonic Irradiation as Electrochemical Energy Storage Material. *Indonesia Chemica Acta*, pp. 42-51.
- Mulyati, T. A., 2017. Preprasi dan Karakterisasi Karbon Aktif dari Limbah Ampas Tebu Menggunakan Aktivator KOH. *Indonesian Chemistry and Application Journal*, pp. 1-7.
- Nazzala, J. S., Kamińska, W., Michalkiewicz, B. & Koren, Z. C., 2013. Production, characterization and methane storage potential of KOH-activated carbon from sugarcane molasses. *Industrial Crops and Products*, pp. 153-159.
- SNI 06-3730-1995, 1995. *Arang Aktif Teknis*. Badan Standarisasi Nasional: Jakarta.