



Pembuatan Karbon Aktif Termodifikasi Surfaktan *Sodium Lauryl Sulphate* (SMAC-SLS) dari Tempurung Kelapa Menggunakan Aktivator $ZnCl_2$ dan Gelombang Mikro sebagai Adsorben Kation Pb(II)

Anisyah¹, Arnelli^{1*}, Yayuk Astuti¹

¹Departemen Kimia, Fakultas Sains dan Matematika, Universitas Diponegoro,
Jl. Prof. Soedarto S.H, Tembalang, Semarang 50275

*Corresponding author: arnelli@live.undip.ac.id

Received: 22 April 2021 / Accepted: 01 Mei 2021

Available online: 08 Mei 2021

Abstrak

Penelitian tentang modifikasi karbon aktif tempurung kelapa dengan surfaktan *sodium lauryl sulphate* (SLS) telah dilakukan sebagai adsorben logam Pb(II). Penelitian ini bertujuan untuk membuat material baru *Surfactant Modified Activated Carbon* (SMAC) dari tempurung kelapa yang lebih unggul dari karbon aktif untuk adsorben logam Pb(II). Penelitian ini terdiri dari beberapa tahap. Tahap pertama adalah karbonisasi tempurung kelapa menggunakan pirolisis pada temperatur 400°C selama 1 jam, tahap kedua aktivasi menggunakan $ZnCl_2$ 30% dan radisasi gelombang mikro dengan daya bervariasi 80 -800 W selama waktu bervariasi 1 - 9 menit, tahap ketiga modifikasi karbon aktif menggunakan SLS 60 ppm selama 4 jam dan selanjutnya tahap aplikasi SMAC untuk adsorben Pb(II). Karakterisasi SMAC dilakukan dengan FTIR, GSA, SEM dan data termodinamika. Keberhasilan adsorpsi SMAC diukur dengan menentukan kapasitas adsorpsi. Hasil modifikasi menunjukkan karbon aktif dapat mengadsorpsi SLS sebesar 1,496 mg/g. Karakterisasi SMAC dengan FTIR menunjukkan adanya puncak S=O pada bilangan gelombang 1341 cm^{-1} , karakterisasi dengan GSA menunjukkan luas area SMAC lebih kecil dari karbon aktif yaitu sebesar 3,924 m^2/g , morfologi permukaan SMAC sebagian besar tertutup oleh surfaktan SLS dan data termodinamika memberikan nilai entalpi sebesar -10,282 kJ/mol yang menunjukkan interaksi antara karbon aktif dan SLS merupakan interaksi atau adsorpsi secara fisik. SMAC efektif mengadsorpsi logam Pb(II) dengan efisiensi sebesar 99,893% dan kapasitas sebesar 1,498 mg/g dan interaksi antara SMAC dengan kation Pb(II) merupakan interaksi elektrostatis.

Kata Kunci: SMAC, Kapasitas Adsorpsi, kation Pb

1. Pendahuluan

Surfactant-Modified Activated Carbon (SMAC) merupakan karbon aktif yang dimodifikasi dengan surfaktan dengan tujuan untuk meningkatkan daya adsorpsi karbon aktif [1]. Hal tersebut telah dibuktikan oleh Al-Latief dkk. [2] bahwa adanya modifikasi karbon aktif dari sekam padi dengan surfaktan sodium lauryl sulphate (SLS) dapat meningkatkan daya adsorpsi karbon aktif terhadap ion logam Pb(II) dengan peningkatan efisiensi sebesar 0,15 %.

Karbon aktif adalah bahan berpori yang terdiri dari karbon dengan luas permukaan dan pori-pori yang baik dengan adanya aktivator. Permukaan yang terbentuk dan pori-pori karbon dapat digunakan sebagai adsorben [3]. Aktivasi karbon dapat dilakukan secara fisika (aktivasi dengan agen pengoksidasi seperti CO_2

atau pemanasan) maupun kimia (aktivasi dengan garam mineral). Salah satu aktivator yang digunakan dalam sintesis karbon aktif adalah $ZnCl_2$ dan radiasi gelombang mikro. Keberadaan $ZnCl_2$ dalam proses aktivasi, berfungsi untuk menghambat pembentukan tar (cairan kental) [4].

Karbon dibuat melalui proses karbonisasi salah satunya dengan metode pirolisis. Pirolisis merupakan proses dekomposisi suatu zat/material yang dilakukan pada suhu relatif tinggi dan tanpa oksigen. Hasil pirolisis berupa char (padat) mengandung karbon dan silika dengan komposisi tergantung pada kondisi pirolisis [5]. Karbon aktif dapat disintesis dari batu bara antrasit ataupun batu bara bitumen, akan tetapi banyak penelitian menggunakan bahan baku dari tanaman yang tersusun atas lignin dan selulosa seperti tempurung kelapa [6].

Keberadaan limbah tempurung kelapa di Indonesia belum mendapatkan perhatian dan hanya terbatas untuk beberapa keperluan sederhana misalnya sebagai karbon pembakaran, padahal karbon tempurung kelapa merupakan bahan yang dapat dimanfaatkan untuk berbagai keperluan salah satu pemanfaatan tempurung kelapa yang sangat potensial adalah sebagai bahan penyerap. [7] meneliti tentang pembuatan karbon aktif dari limbah tempurung kelapa dan didapatkan hasil kandungan karbon mencapai 82,92% sehingga karbon tempurung kelapa memiliki potensi sebagai sumber karbon aktif.

Berdasarkan penjelasan di atas akan dilakukan pembuatan karbon aktif dari tempurung kelapa dengan aktivator $ZnCl_2$ dan radiasi gelombang mikro dengan variasi waktu radiasi dan daya radiasi karena setiap biomassa berbeda aktivasinya, Karbon aktif yang dihasilkan dimodifikasi dengan surfaktan SLS untuk mengadsorpsi ion logam Pb.

2. Metode Penelitian

2.1. Alat dan Bahan

Alat yang digunakan adalah gelas beker 250 mL, gelas beker 100 mL, corong pemisah 250 mL, pipet tetes, pipet volume, erlenmeyer 250 mL, gelas ukur 10 mL, gelas ukur 25 mL, kaca pengaduk, kaca arloji, corong, *hotplate stirrer*, penangas, botol vial, neraca analitik, kertas saring, ayakan 100 mesh, reaktor pirolisis (*pyrolyzer*), oven *Isotemp 630F*, *microwave Electrolux*, *spektrofotometer UV-Vis Shimadzu UV-i201*, *BET Quantachromenova*, *FTIR Parkin Elmer Spectrum Version 10.4.00*, AAS dan *SEM-Phenom Pro-X*.

Bahan yang digunakan adalah tempurung kelapa, aquades, $ZnCl_2$, *Sodium Lauryl Sulfate* (SLS), H_2SO_4 , Indikator phenolptalein, *Methylene Blue*, $Pb(NO_3)_2$, $NaH_2PO_4 \cdot 1H_2O$, *buffer* pospat pH 8, kloroform p.a. dan NaOH padatan.

2.2. Prosedur Penelitian

Tempurung kelapa yang telah dicuci dan dikeringkan dikarbonisasi menggunakan reaktor pirolisis selama 60 menit dengan temperatur $400^\circ C$. Karbon tempurung kelapa diaktivasi dengan $ZnCl_2$ 30% dengan variasi waktu 1, 3, 5, 7 dan 9 menit didalam *microwave*, setelah diperoleh waktu optimum selanjutnya dilakukan aktivasi dengan variasi daya radiasi 80, 240, 400, 640 dan 800 watt. Karbon yang telah diradiasi dicuci dengan aquades hingga pH konstan. Karbon aktif dikeringkan

menggunakan oven pada temperatur $105^\circ C$ selama 1 jam, selanjutnya karbon aktif dihaluskan dan diayak dengan ukuran 100 mesh. Waktu dan daya radiasi optimum dapat ditentukan dengan cara mengontakkan karbon aktif dengan SLS 60 ppm selama 4 jam, disaring dan filtrat dikomplekskan dengan metode MBAS, absorbansi diukur dengan spektrofotometer UV-Vis. Residu berupa SMAC yang diaplikasikan untuk adsorben Pb(II).

3. Hasil dan Pembahasan

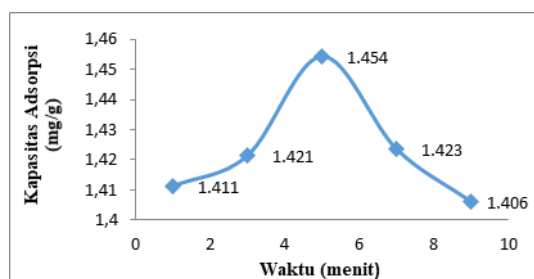
3.1. Aktivasi karbon tempurung kelapa

Tahap aktivasi yang digunakan adalah aktivasi kimia yaitu proses pemutusan rantai karbon dari senyawa organik dengan pemakaian bahan - bahan kimia sebagai pengaktivasi (Sembiring, 2003), di mana dalam penelitian ini menggunakan $ZnCl_2$ sebagai *activating agent*. Aktivasi fisika yaitu pemanasan menggunakan *microwave* yang memancarkan panas melalui gelombang mikro. Penggunaan $ZnCl_2$ dengan aktivasi *microwave* bertujuan untuk memaksimalkan ukuran pori sehingga dapat meningkatkan daya adsorpsi karbon aktif terhadap surfaktan. [8] berpendapat $ZnCl_2$ berfungsi sebagai asam Lewis yang dapat mengikat pengotor dari proses karbonisasi sehingga meningkatkan perolehan karbon aktif. Karbon aktif yang terbentuk dilakukan pencucian menggunakan aquades hingga pH konstan untuk menghilangkan sisa $ZnCl_2$ pada pori karbon dan dilakukan pemanasan dengan suhu $105^\circ C$ selama 10 menit untuk menghilangkan uap air sehingga diperoleh karbon aktif dalam keadaan kering. Tahap selanjutnya dilakukan penumbukan dan pengayakan dengan ayakan berukuran 100 mesh, penumbukan dan pengayakan dilakukan untuk memperbesar luas permukaan karbon aktif. Karbon aktif yang dihasilkan mempunyai rendemen sebesar 90,2 % dari karbon.

3.2. Penentuan waktu radiasi optimum pada proses aktivasi

Proses aktivasi karbon dengan $ZnCl_2$ dilakukan dibawah radiasi gelombang mikro, waktu radiasi mulai 1 sampai 9 menit dengan daya tertentu sehingga terbentuk karbon aktif. Penentuan waktu radiasi optimum dilakukan dengan cara mengontakkan karbon aktif dengan SLS pada konsentrasi 60 ppm selama 4 jam dan ditentukan kapasitas adsorpsi SLS oleh karbon aktif. Pengaruh waktu aktivasi terhadap kapasitas adsorpsi tersaji pada gambar 1.

Gambar 1 menunjukkan pengaruh waktu aktivasi terhadap kapasitas adsorpsi, dapat diketahui waktu aktivasi optimum selama 5 menit, hal ini didasarkan pada besarnya kapasitas adsorpsi karbon aktif sebesar 1,454 mg/g, semakin besar kapasitas adsorpsi karbon aktif maka semakin banyak jumlah surfaktan yang diserap. Waktu radiasi dari 1-5 menit terjadi kenaikan kapasitas karena pori telah bebas dari pengotor sehingga semakin mampu untuk mengadsorpsi SLS. Kapasitas adsorpsi diatas 5 menit mengalami penurunan adsorpsi seiring meningkatnya waktu kontak dengan $ZnCl_2$ di dalam *microwave*. Hal ini dikarenakan karbon yang telah rusak akibat terlalu lama terpapar gelombang mikro, yang menyebabkan rusaknya pori karbon aktif, sebagian sudah berubah jadi abu sehingga karbon aktif tidak dapat mengadsorpsi secara maksimal [9].

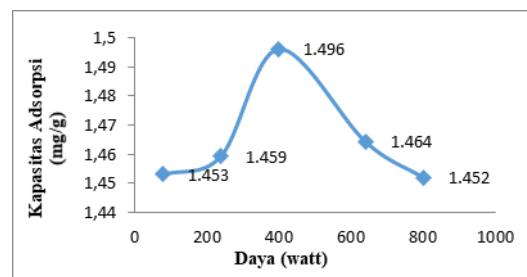


Gambar 1. Pengaruh waktu aktivasi terhadap kapasitas adsorpsi

3.3. Penentuan daya radiasi optimum pada proses aktivasi

Proses aktivasi selanjutnya dilakukan dengan memvariasikan daya radiasi dari 80 - 800 W selama 5 menit (waktu optimum, gambar 1). Penentuan daya radiasi optimum digunakan untuk mengetahui daya radiasi dalam proses aktivasi karbon dengan $ZnCl_2$, perlakuan yang sama mengontakkan karbon aktif dengan SLS 60 ppm selama 4 jam. Gambar 2 menunjukkan pengaruh daya aktivasi terhadap kapasitas adsorpsi dan diketahui daya aktivasi optimum sebesar 400 W. Hal ini didasarkan pada besarnya kapasitas adsorpsi, di mana pada daya radiasi 400 W kapasitas adsorpsi paling besar yaitu sebesar 1,496 mg/g. Kapasitas adsorpsi SLS meningkat pada daya 80 sampai 400 W dikarenakan adanya efek pemanasan volumetrik yaitu pemanasan larutan secara menyeluruh karena radiasi gelombang mikro merata keseluruh karbon dan larutan $ZnCl_2$ yang mengakibatkan bertambahnya pembentukan porositas baru [10]. Kapasitas adsorpsi terhadap SLS setelah melampaui daya aktivasi optimum cenderung menurun kembali,

hal ini mengindikasikan bahwa sebagian kecil karbon telah terbakar dan struktur pori karbon hancur seiring meningkatnya daya radiasi yang melampaui daya optimum [11]. Karbon yang diradiasi pada 600 - 800 W sebagian telah berubah menjadi abu sehingga SLS yang terserap juga sedikit dan kapasitas adsorpsi turun.

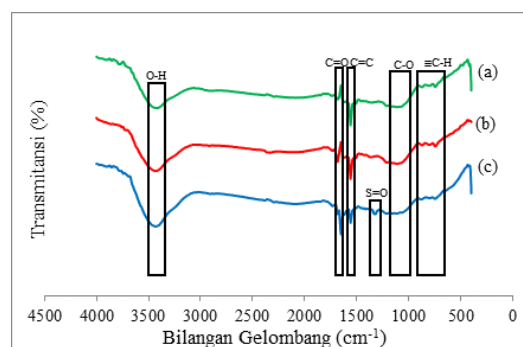


Gambar 2. Pengaruh daya radiasi terhadap kapasitas adsorpsi

3.4. Modifikasi Karbon Aktif Dengan SLS (SMAC)

Gambar 1 dan **2** menunjukkan bahwa karbon aktif sudah dapat dimodifikasi dengan surfaktan SLS 60 ppm selama 4 jam. Surfaktan SLS yang dapat memodifikasi karbon aktif sebesar 1,496 mg per gram karbon aktif, untuk keberhasilan modifikasi ini dilakukan karakterisasi dengan FTIR, SEM, GSA dan data termodinamika, sebagai pembanding adalah karbon dan karbon aktif.

Karakterisasi FTIR



Gambar 3. Hasil spektra FTIR, a) Karbon, (b) Karbon Aktif dan (c) SMAC

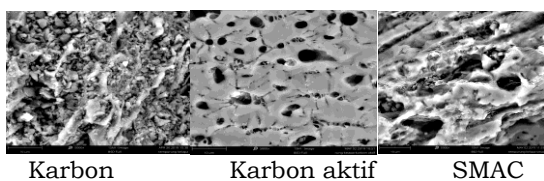
Tabel 1. Hasil analisis spektra FTIR

Gugus Fungsi	Karbon (cm ⁻¹)	Karbon Aktif (cm ⁻¹)	SMAC (cm ⁻¹)
O-H	3420,65	3434	3431,89
C=C	1559,96	1559,96	1560
C=	1684,5	1685	1652,98
C-O	1113	1211,5	1217
=C-H	746,5	746,5	748
	804,5	805	800,5
	874,5	872,5	882,5
S=O	-	-	1341

Gambar 3 dan **Tabel 1** memperlihatkan bahwa karbon, karbon aktif dan SMAC memiliki spektra yang relatif sama hanya ada beberapa pergeseran di daerah sekitar 1500 – 2000 cm^{-1} . Perbedaan SMAC dengan karbon dan karbon aktif adalah munculnya spektra di daerah 1341 cm^{-1} yang merupakan serapan gugus S=O yang berasal dari surfaktan SLS. Surfaktan SLS yang dapat memodifikasi karbon aktif sebesar 1,496 mg per gram karbon aktif (**Gambar 2**).

Karakterisasi SEM

Analisis SEM (gambar 4) menunjukkan bahwa dalam perbesaran yang sama pori dari karbon masih tertutup oleh pengotor sedangkan karbon aktif sudah kelihatan pori-pori sudah bersih dan permukaannya halus. Proses aktivasi dengan ZnCl_2 menyebabkan pori-pori semakin lebar akibat dari hilangnya zat yang menutupi pori-pori karbon [12]. Permukaan SMAC sedikit kasar dan sebgai pori sudah tertutup, diperkirakan SLS yang teradsorpsi.



Gambar 4. Hasil analisis morfologi menggunakan SEM

Modifikasi karbon aktif dengan SLS menyebabkan sebagian pori karbon aktif tertutup dikarenakan surfaktan SLS tidak hanya teradsorpsi di permukaan saja namun sampai ke dalam pori atau pada antar lapis karbon aktif.

Karakterisasi dengan GSA

Hasil analisis menggunakan SAA dapat dilihat pada tabel 2. Tabel 2 menunjukkan terjadi peningkatan luas permukaan dan volume pori dari karbon setelah diaktivasi dengan menggunakan ZnCl_2 hal ini disebabkan oleh peran ZnCl_2 yang bersifat sebagai asam lewis dapat mengikat pengotor hasil karbonisasi. Luas permukaan dan volume pori akan mempengaruhi kemampuan adsorpsi SLS oleh karbon aktif. Distribusi pori karbon aktif memiliki diameter kurang dari 200Å yang menunjukkan bahwa pori yang terbentuk berukuran mesopori [12], hal ini menunjukkan bahwa pori-pori dapat ditempati oleh surfaktan SLS yang memiliki diameter sekitar 3,08Å [13]. Luas permukaan dan volume pori SMAC lebih kecil dibanding karbon aktif hal ini dikarenakan pori-pori dari karbon aktif telah terisi oleh surfaktan SLS.

Tabel 2. Hasil analisis GSA pada karbon, karbon aktif dan SMAC

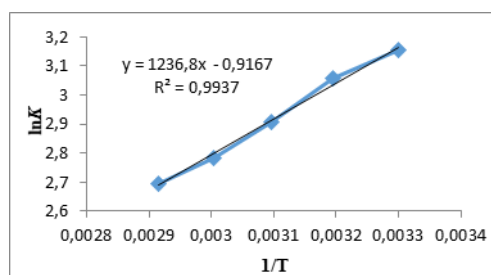
Sampel	Luas permukaan (m^2/g)	Volume Pori (cc/g)	Radius pori (Å)
Karbon	7,765	0,008	15,029
Karbon aktif	47,512	0,033	16,019
SMAC	3,924	0,007	16,149

Karakterisasi Secara Termodinamika

Termodinamika adsorpsi surfaktan SLS oleh karbon aktif dipelajari dari nilai perubahan energi bebas Gibbs (ΔG), perubahan entropi (ΔS) dan perubahan entalpi (ΔH). Penentuan termodinamika adsorpsi dilakukan dengan adsorpsi surfaktan SLS 60 ppm pada suhu 30, 40, 50, 60 dan 70 $^{\circ}\text{C}$. Parameter termodinamika ditentukan berdasarkan kurva hubungan $1/T$ vs $\ln K$, dimana K adalah koefisien kesetimbangan adsorpsi, ΔS adalah perubahan entropi, ΔH adalah perubahan entalpi, T adalah suhu dalam Kelvin (K), dan R adalah konstanta gas nilainya sebesar 8,314 J/mol K.

$$K = \frac{C_{ads}}{C_{sisa}} \quad \ln K = \frac{\Delta S}{R} - \frac{\Delta H}{RT}$$

Kurva hubungan antara $1/T$ vs $\ln K$ dapat dilihat pada **Gambar 8**



Gambar 5. Kurva hubungan $1/T$ vs $\ln K$

Tabel 3. Data termodinamika adsorpsi SLS oleh karbon aktif

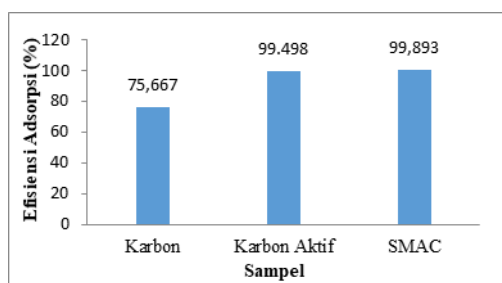
T (K)	ΔG (KJ/Mol)	ΔH (KJ/Mol K)	ΔS (J/Mol)
303	-7,973		
313	-7,897		
323	-7,821	-10,282	-7,621
333	-7,744		
343	-7,668		

Tabel 3. menunjukkan ΔG bernilai negatif mengidentifikasi bahwa proses adsorpsi surfaktan ke dalam karbon aktif berlangsung spontan. ΔG semakin meningkat dengan naiknya temperatur. Nilai ΔH negatif menunjukkan bahwa proses adsorpsi berlangsung secara eksotermis. Nilai ΔH -10,282 kJ/mol K mengidentifikasi bahwa proses

adsorpsi SLS dalam karbon aktif adalah adsorpsi secara fisik [14]. Nilai ΔS negatif mengidentifikasi bahwa proses adsorpsi SLS di permukaan karbon aktif memiliki ketidakteraturan yang rendah [15] dan tidak ada struktur internal yang berubah selama proses adsorpsi berlangsung.

3.5. Adsorpsi Ion Pb^{2+}

Karbon aktif termodifikasi surfaktan (SMAC) digunakan untuk mengadsorpsi $Pb(II)$ dengan konsentrasi 60 ppm selama 1 jam, karbon dan karbon aktif digunakan sebagai pembanding. Mekanisme yang terjadi pada adsorpsi ion $Pb(II)$ adalah adanya gugus karboksil dan hidroksi menyediakan situs aktif untuk terjadi interaksi dengan ion $Pb(II)$. Porisitas SMAC juga berperan dalam proses adsorpsi, di mana ion-ion Pb^{2+} dapat masuk ke dalam pori-pori SMAC [16].



Gambar 6. Efisiensi adsorpsi logam Pb^{2+}

Gambar 6 menunjukkan SMAC memiliki efisiensi terbesar dengan nilai 99,893%, hal ini menunjukkan bahwa adanya surfaktan mempengaruhi efisiensi adsorpsi terhadap ion $Pb(II)$. Surfaktan teradsorpsi pada permukaan karbon aktif dan merubah sifat karbon aktif dari sedikit polar menjadi lebih polar dan menjadi lebih negatif sehingga ion $Pb(II)$ lebih mudah teradsorpsi pada permukaan karbon aktif [17] dan juga ion $Pb(II)$ teradsorpsi lebih kuat karena adanya gaya elektrostatis antara situs negatif dari permukaan SMAC dengan ion $Pb(II)$. Hasil adsorpsi ini sesuai dengan data permukaan SEM, yang terlihat bahwa permukaan SMAC dan karbon aktif lebih berpori dibandingkan dengan karbon aktif. Pada karbon aktif menunjukkan juga terjadi adsorpsi tetapi hanya dipermukaan dan di dalam pori.

4. Kesimpulan

Aktivasi karbon membutuhkan daya radiasi sebesar 400 W selama 5 menit, pembuatan SMAC membutuhkan konsentrasi SLS sebesar 60 ppm dan waktu kontak selama 4 jam dengan kapasitas adsorpsi sebesar 1,496 mg/g. Karakterisasi SMAC dengan FTIR

menunjukkan adanya puncak $S=O$ pada bilangan gelombang 1341 cm^{-1} , karakterisasi dengan GSA menunjukkan luas area SMAC sebesar $3,924\text{ m}^2/\text{g}$, morfologi permukaan SMAC sebagian besar tertutup oleh surfaktan SLS dan data termodinamika memberikan nilai entalpi sebesar $-10,282\text{ kJ/mol}$ yang menunjukkan interaksi antara karbon aktif dan SLS merupakan interaksi fisik atau adsorpsi secara fisik. SMAC efektif mengadsorpsi logam Pb dengan efisiensi sebesar 99,893% dan interaksi antara SMAC dengan kation Pb merupakan interaksi elektrostatis.

Daftar Pustaka

- [1] Chen, Xiong, Sukun Zhou, Liming Zhang, Tingting You, Feng Xu, Adsorption of Heavy Metals by Graphene Oxide/Cellulose Hydrogel Prepared from Naoh/Urea Aqueous Solution, *Materials*, 9, 7, (2016), 582 <https://doi.org/10.3390/ma9070582>
- [2] Al-Latief, Diana Nur, Arnelli, Y Astuti, Synthesis of sodium lauryl sulphate (SLS)-modified activated carbon from risk husk for waste lead (Pb) removal, *AIP Conference Proceedings*, 2015
- [3] Al-Doury, MM, Suha Sameen Ali, Removal of Phenol and Parachlorophenol from Synthetic Wastewater Using Prepared Activated Carbon from Agricultural Wastes, *International Journal of Sustainable and Green Energy*, 4, 3, (2015), 92-101 <https://doi.org/10.11648/j.ijrse.20150403.14>
- [4] Kristianto, Hans, Sintesis Karbon Aktif dengan Menggunakan Aktivasi Kimia $ZnCl_2$, *Jurnal Integrasi Proses*, 6, 3, (2017), 104-111 <http://dx.doi.org/10.36055/jip.v6i3.1031>
- [5] Danarto, YC, Ferry Sasmita, Pirolysis Limbah Serbuk Kayu dengan Katalisator Zeolit, *Prosiding Seminar Nasional Teknik Kimia "Kejuangan"*, (2010),
- [6] Azevedo, Diana C. S., J. Cássia S. Araújo, Moisés Bastos-Neto, A. Eurico B. Torres, Emerson F. Jaguaribe, Celio L. Cavalcante, Microporous Activated Carbon Prepared from Coconut Shells Using Chemical Activation with Zinc Chloride, *Microporous and Mesoporous Materials*, 100, 1-3, (2007), 361-364 <https://doi.org/10.1016/j.micromeso.2006.11.024>
- [7] Budi, Esmar, Hadi Nasbey, Setia Budi, Erfan Handoko, Puji Suharmanto, Rangi Sinansari, Sunaryo Sunaryo, Kajian Pembentukan Karbon Aktif Berbahan Arang Tempurung Kelapa, *Prosiding Seminar Nasional Fisika (E-Journal)*, 2012

- [8] Alothman, Z., M. Habila, R. Ali, Preparation of Activated Carbon Using The Copyrolysis of Agricultural And Municipal Solid Wastes at A Low Carbonization Temperature, *carbon*, 24, (2011), 67-72 <https://doi.org/10.13140/2.1.1478.2401>
- [9] Baytar, Orhan, Ömer Şahin, Cafer Saka, Sequential Application of Microwave and Conventional Heating Methods for Preparation of Activated Carbon from Biomass and Its Methylene Blue Adsorption, *Applied Thermal Engineering*, 138,(2018),542-551 <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2018.04.039>
- [10] Foo, KY, BH Hameed, Preparation, Characterization and Evaluation of Adsorptive Properties of Orange Peel Based Activated Carbon Via Microwave Induced K₂CO₃ Activation, *Bioresource technology*, 104,(2012),679-686 <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2011.10.005>
- [11] Deng, Hui, Le Yang, Guanghui Tao, Jiulei Dai, Preparation and Characterization of Activated Carbon from Cotton Stalk by Microwave Assisted Chemical Activation—Application in Methylene Blue Adsorption from Aqueous Solution, *Journal of hazardous materials*, 166, 2-3, (2009), 1514-1521 <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2008.12.080>
- [12] Marsh, Harry, Francisco Rodriguez Reinoso, *Activated carbon*, Elsevier, 2006,
- [13] Shannon, Robert D, Revised Effective Ionic Radii and Systematic Studies of Interatomic Distances in Halides and Chalcogenides, *Acta Crystallographica Section A: Crystal Physics, Diffraction, Theoretical and General Crystallography*, 32, 5, (1976), 751-767 <https://doi.org/10.1107/S0567739476001551>
- [14] Akbar, M., Nema Salem, S. A. Hussein, Thermodynamics of The Bardeen Regular Black Hole, *Chinese Physics Letters*, 29, 7, (2012),
- [15] Osasona, Ilesanmi, Kayode Aiyedatiwa, Jonathan Johnson, Oluwabamise Lekan Faboya, Activated Carbon from Spent Brewery Barley Husks for Cadmium Ion Adsorption from Aqueous Solution, *Indonesian Journal of Chemistry*, 18, 1, (2018),145-152 <https://doi.org/10.22146/ijc.22422>
- [16] Huang, Yang, Shunxing Li, Jianhua Chen, Xueliang Zhang, Yiping Chen, Adsorption of Pb(II) on Mesoporous Activated Carbons Fabricated from Water Hyacinth Using H₃PO₄ Activation: Adsorption Capacity, Kinetic and Isotherm Studies, *Applied Surface Science*, 293, (2014), 160-168 <https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2013.12.123>
- [17] Zhang, Dawei, Yumin Zhang, Tianqi Zhao, Jing Li, Yaya Hou, Qiang Gu, A Rapid and Efficient Solvent-Free Microwave-Assisted Synthesis of Pyrazolone Derivatives Containing Substituted Isoxazole Ring, *Tetrahedron*, 72, 22, (2016), 2979-2987 <https://doi.org/10.1016/j.tet.2016.04.014>