

# Pembuatan Karbon Aktif Cangkang Kelapa Sawit (*Elaeis guineensis*) Dengan Aktivator Gelombang Microwave

Muhammad Taufik, Tirta Suci Dhian Kasih, Miftahul Khair\*

Jurusan Kimia, Universitas Negeri Padang  
Jalan Hamka, Air Tawar, Padang Utara, Padang, Indonesia

\*miftah@fmipa.unp.ac.id

**Abstract** — The palm oil industry is one of the largest industries in Indonesia, because the large number of palm oil industries causes a lot of waste from the palm oil industry. This oil palm industrial waste has the potential to produce activated carbon. Activated carbon from palm kernel shell has been prepared by using microwave assisted activation. Carbonization was conducted at mild condition of 400°C for 90 minutes heating time. Microwave irradiation 300 Watt for 2 minutes with frequency 2.45 GHz increase s the carbon iodine number from 452.4021 mg/g up to 829.4040 which is higher than SNI 06-3730-1995 requirement of 750 mg/g for activated carbon. FTIR spectra results show that activated carbon has - OH groups at wave numbers of 3000-3500 cm<sup>-1</sup>, C=C at wave numbers of 1550-1650 cm<sup>-1</sup>, C-O at wave numbers of 1000-1260 cm<sup>-1</sup> and C- H at wave numbers of 810-770 cm<sup>-1</sup>. Adsorption test results showed that the prepared activated carbon was able to absorb Pb<sup>+2</sup> ion at the optimum concentration of 8.0 mg/L. Adsorption isotherms study conducted by the Langmuir equation produces a regression coefficient R<sup>2</sup> = 0.8903 with a maximum of adsorption capacity of 13.3868 mg /g.

**Keywords** — Carbon Active, Microwave, Green Chemistry, Adsorption, *Elaeis guineensis*

## I. PENGANTAR

Industri kelapa sawit merupakan salah satu industri terbesar di Indonesia. Industri kelapa sawit menghasilkan limbah yang berupa limbah padat dan limbah cair, limbah padat berupa tandan kosong, cangkang dan sabut (*fiber*). Untuk 1 ton kelapa sawit akan dapat menghasilkan limbah berupa limbah cangkang (*shell*) sebanyak 6,5%, tandan kosong kelapa sawit sebanyak 23%, serabut (*fiber*) 13%, lumpur sawit (*wet decanter solid*) 4 %, serta limbah cair sebanyak 50%. Limbah pertanian menjadi salah satu sumber potensial pada pembuatan karbon aktif dikarenakan jumlah kelimpahan, kekerasan bahan dan memiliki kadar karbon yang tinggi dengan kadar abu yang rendah [2]. Cangkang merupakan bagian paling keras pada komponen yang terdapat pada kelapa sawit [16]. Cangkang kelapa sawit mengandung selulosa 38,52%, hemiselulosa 33,52%, lignin 20,36%, zat ekstraktif 3,68%, abu 3,92% dan air 8,0%.

Karbon aktif adalah suatu material berpori dengan kandungan 85 - 95% karbon yang dihasilkan dari material yang mengandung karbon dengan pemanasan pada suhu tinggi [7]. Karbon aktif memiliki struktur amorphous atau mikrokristalin. Struktur mikrokristalin tersusun secara acak dan memiliki struktur yang berpori dengan kerapatan yang relatif rendah. Pori yang ada pada karbon aktif berguna untuk penyerap atau penghilang polutan pada air limbah [9]. Karbon aktif adalah bahan yang unik, karena memiliki pori pada strukturnya. Pori tersebut dapat diisi oleh suatu molekul. Meskipun tersusun atas pori yang kosong, karbon aktif

memiliki gaya Van Der Waals yang kuat antar atom karbon. Hal tersebut berperan dalam proses adsorpsi [12].

Salah satu metoda yang dapat digunakan untuk aktivasi karbon yaitu penggunaan teknologi gelombang mikro (*microwave*). *Microwave* merupakan alat yang menggunakan prinsip gelombang elektromagnetik tak terionkan dengan frekuensi antara 300 MHz-300 GHz dan berada diantara sinar-x dan sinar infra merah dalam spektrum elektromagnetik [1]. Pada penggunaan *microwave* sebagai aktivator karbon terjadi interaksi antara partikel dari suatu bahan yang memiliki muatan dengan gelombang elektromagnetik pada frekuensi tertentu. Suatu bahan akan mengalami iradiasi elektromagnetik panas yang disebabkan oleh proses konduksi atau tumbukan atau keduanya.

Energi gelombang mikro mengubah polaritasnya antara muatan positif dan negatif pada setiap satu siklus gelombang. Hal tersebut mengakibatkan perubahan molekul yang cepat, sehingga menghasilkan panas akibat dari tumbukan muatan tersebut. Suatu bahan atau material (misalnya elektron dalam sampel karbon) yang dilewati oleh gelombang mikro, maka partikel tersebut akan diinduksi. Partikel yang telah diinduksi dan berada pada medan listrik akan bergerak sampai terbentuk gaya listrik yang seimbang [4]. Gelombang radio dan gelombang mikro memiliki kemiripan, namun gelombang radio panjang gelombangnya lebih panjang dibandingkan microwave, namun frekuensi gelombang mikro lebih tinggi dibandingkan gelombang radio. [8].

*Green Chemistry* adalah salah satu metoda yang digunakan untuk meminimalkan jumlah limbah dan polusi yang disebabkan oleh bahan kimia, mengefesienkan sumber energi

dan material serta mengurangi biaya penanganan lingkungan yang terkena dampak negatif dari penggunaan bahan kimia.

Ada 12 prinsip penggunaan *Green Chemistry*, beberapa diantaranya adalah :

1. Meminimalkan dampak limbah dan polusi
2. Mengurangi penggunaan pelarut dan bahan baku yang lebih mudah untuk didaur ulang atau regenerasi.
3. Pada proses sintesis penggunaan bahan kimia harus seminimal mungkin dan tidak berbahaya bagi lingkungan.
4. Meminimalkan biaya [5].

Untuk mengurangi penggunaan bahan kimia pada pada proses pembuatan karbon yang dapat berdampak pada lingkungan teknik *Green Chemistry* dengan penggunaan *microwave* sebagai aktivator karbon sangat berpotensi untuk digunakan karena lebih sedikit menggunakan reagen kimia, tahapan proses yang lebih singkat serta beroperasi pada suhu yang rendah [12].

Karakterisasi karbon aktif dapat menggunakan FTIR dan SEM. FTIR adalah metoda semikuantitatif dan digunakan untuk membedakan keasaman Bronsted dan Lewis menggunakan molekul gas, dengan memperoleh jumlah asam [6]. Karakterisasi menggunakan XRD dilakukan pada penelitian ini untuk mengidentifikasi struktur kristal zat padat karbon aktif hasil aktivasi fisika dengan menggunakan *microwave* [14].

## II. METODA PENELITIAN

### A. Materials

Bahan yang digunakan adalah batang kelapa sawit dari PT Wilmar, larutan  $I_2$  0,1 N (merk EMSURE), larutan  $Na_2S_2O_3$  teknis 0,1 N (merk EMSURE), larutan kanji teknis 1% dan Aquades, larutan KI 0,1 N (merk EMSURE),

### B. Equipment

Alat-alat gelas laboratorium, *furnace*, oven listrik, neraca analitik, ayakan vibrator screen 100 mesh, desikator, buret, *shecker* (SHO-ID), kertas saring, *microwave*, FTIR (*Panalytical Expert Pro*), AAS (Shimadzu tipe AA 600) dan XRD.

### C. Prosedur penelitian

#### 1. Tahap dehidrasi

Bahan baku disiapkan berbentuk serpihan. Dicuci bersih lalu sampel dipanaskan selama  $\pm 3$  hari selanjutnya di oven pada temperatur  $105^\circ C$  hingga berat konstan.

#### 2. Tahap karbonisasi

Bahan baku dipanaskan dalam *furnace* dengan variasi suhu 400, 500, dan  $600^\circ C$  selama 60, 90, 120 dan 150 menit. Arang yang terbentuk didinginkan pada desikator dan dilakukan penghalusan dengan ukuran 100 mesh. Lalu dilakukan uji proksimat untuk mendapatkan karbon optimum.

#### 3. Tahap aktivasi

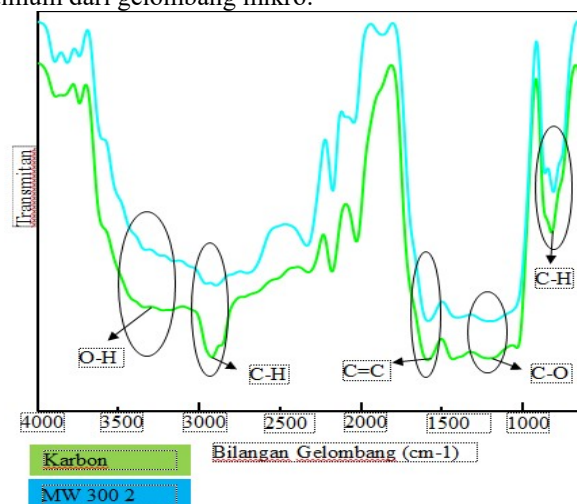
Karbon optimum yang terbentuk diaktivasi dengan menggunakan *microwave* variasi waktu radiasi 1, 2, 3, 4 dan 5 menit daya radiasi 150, 300 dan 450 watt. Karbon kemudian direndam selama 24 jam kemudian dinetralkan pH nya

menggunakan aquades hingga pH 6-7. Setelah proses aktivasi dilakukan karbon aktif diuji karakteristik yang meliputi rendemen, kadar karbon terikat, kadar abu, kadar zat menguap, kadar air, kadar abu, dan daya serap iod. Hasil karbon aktif optimum dikarakterisasi struktur dengan FTIR dan XRD.

## III. HASIL DAN PEMBAHASAN

### A. Analisa menggunakan FTIR

Karakterisasi menggunakan FTIR akan dapat menunjukkan gugus fungsi dan jenis ikatan yang terdapat pada karbon dari limbah cangkang kelapa sawit hasil dari karbonisasi dan karbon aktif hasil aktivasi dari karbonisasi optimum dari gelombang mikro.

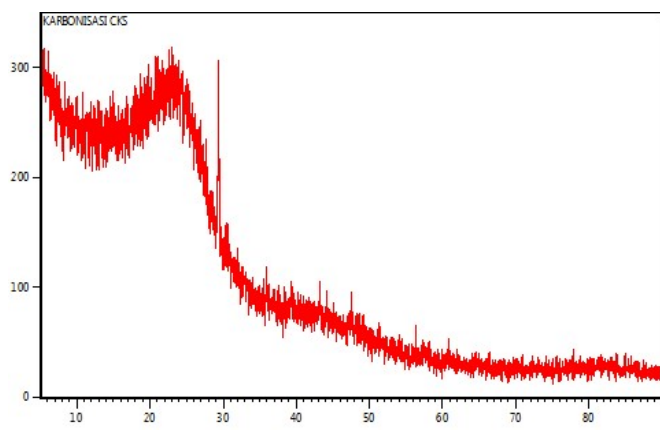


Gambar 1. Spektra FTIR karbon aktif dari limbah cangkang kelapa sawit sebelum dan sesudah aktivasi

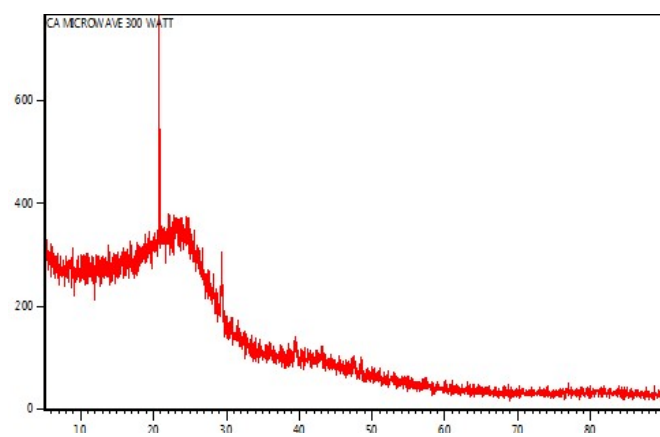
Spektra FTIR karbon aktif limbah cangkang kelapa sawit dapat dilihat pada bilangan gelombang  $3350 - 3252\text{ cm}^{-1}$  yang menunjukkan gugus fungsi  $-OH$  stretching alkohol dan fenol, pada bilangan gelombang  $1300 - 900\text{ cm}^{-1}$  menunjukkan gugus CO, pada bilangan gelombang  $995 - 670\text{ cm}^{-1}$  menunjukkan CH gugus fungsional, pada bilangan gelombang  $1570 - 1320\text{ cm}^{-1}$  itu menunjukkan  $C=C$  aromatic dari lignin dan pada bilangan gelombang  $810 - 770\text{ cm}^{-1}$  menunjukkan ikatan CH dari hemiselulosa. Pada gambar 1 dapat dilihat hilangnya gugus  $C-H$  pada bilangan gelombang  $300 - 2923\text{ cm}^{-1}$  karena karbon setelah diaktivasi yang menyebabkan banyaknya gugus karbon yang terikat sesudah diaktivasi [6].

### B. Analisa XRD

Uji XRD berfungsi untuk melihat struktur kristalin pada suatu material pada karbon hasil karbonisasi dan karbon aktif, derajat kristalin yang dihasilkan dari analisis ini menunjukkan keteraturan struktur suatu material pada karbon hasil karbonisasi dan karbon aktif dari limbah cangkang kelapa sawit [14]. Hasil XRD karbon ditunjukkan oleh gambar 2 dan 3 dibawah ini.



Gambar 2. Spektra XRD karbon sebelum diaktivasi

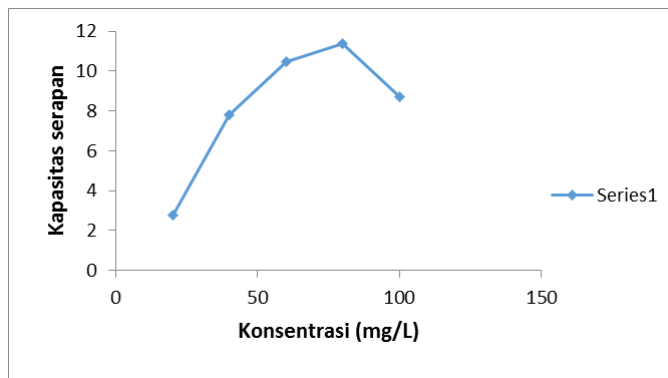


Gambar 3. Spektra XRD karbon aktif dengan microwave

Dari gambar karakterisasi diatas dapat dilihat bahwa karbon memiliki jangkauan sudut yang lebar dan puncak yang landai kearah sudut  $2\theta$  yang mendekati puncak utama pada  $20^\circ$  dengan grafik melebar pada sudut  $10 - 30^\circ$  yang menandakan karbon aktif cangkang kelapa sawit yang dihasilkan berbentuk amorf [14].

C. Uji adsorpsi karbon aktif pada logam timbal ( $Pb^{2+}$ )

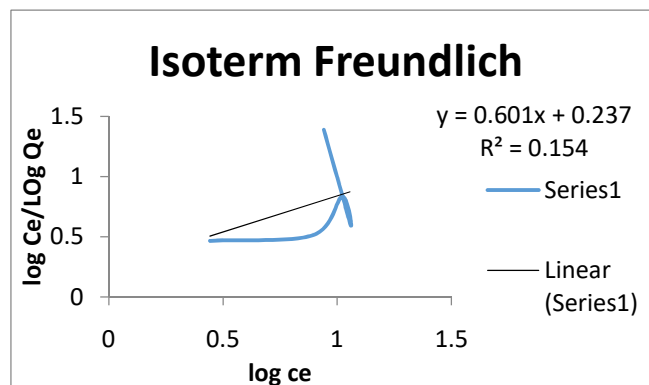
Pengaruh konsentrasi dari penyerapan larutan timbal ( $Pb^{2+}$ ) menggunakan karbon aktif dari limbah cangkang kelapa sawit, yang menunjukkan bahwa peningkatan konsentrasi larutan akan menyebabkan peningkatan adsorpsi ion logam. peningkatan konsentrasi tidak lagi mempengaruhi adsorpsi karena konsentrasi ion logam sebanding dengan porositas yang ada pada permukaan adsorben sehingga situs porositas sudah jenuh atau telah mencapai keadaan kesetimbangan.



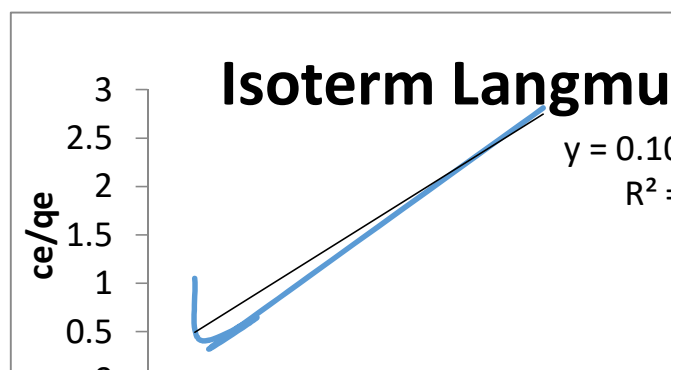
Gambar 4. Konsentrasi ion logam timbal ( $Pb^{2+}$ )

Dari gambar 4 di atas, konsentrasi larutan semakin tinggi pada kapasitas adsorpsi ion logam timbal. Peningkatan terjadi dari 20 mg/L untuk mencapai titik optimum pada konsentrasi 80 mg/L dengan daya serap 11,3868 mg/L. Peningkatan adsorpsi terjadi karena tapak aktif atau pori-pori karbon belum jenuh tetapi pada konsentrasi 100 mg/L terjadi penurunan kapasitas adsorpsi karena situs aktif atau pori-pori karbon telah jenuh dengan ion logam timbal sehingga konsentrasinya tidak lagi berpengaruh terhadap peningkatan adsorpsi [9].

Penentuan kapasitas adsorpsi maksimum dilakukan dengan menggunakan persamaan isotherm untuk mengetahui jenis adsorpsi yang terjadi. Model isotherm adsorpsi yang terjadi pada adsorpsi ion logam timbal dengan menggunakan gelombang mikro karbon cangkang kelapa sawit dengan menguji persamaan regresi linier isotherm Langmuir dan persamaan isotherm Freundlich. Berdasarkan pengujian yang dilakukan dengan menggunakan persamaan dari nilai koefisien korelasi ( $R^2$ ) yang dekat dengan nilai 1. Perbandingan regresi dapat dilihat pada gambar berikut.



Gambar 5. Persamaan isotherm Freundlich



Gambar 6. Persamaan Isoterm Langmuir

Berdasarkan gambar di atas, koefisien korelasi kurva isoterm Langmuir adalah 0,8903 dan kurva Isoterm Freundlich adalah 0,1542. Ini menunjukkan bahwa kecenderungan adsorpsi karbon aktif dari cangkang kelapa sawit mengikuti persamaan isoterm Langmuir karena nilai  $R^2$  nya lebih dekat dengan 1. Kurva isoterm Langmuir adalah adsorpsi kimia yang homogen karena semua permukaan adsorben memiliki penyerapan yang sama dan bentuk lapisan adsorben berbentuk tunggal atau monolayer [4].

D. Uji proksimat karbon aktif dari limbah cangkang kelapa sawit

Tahap aktivasi dilakukan untuk meningkatkan luas permukaan arang yang memiliki kapasitas penyerapan yang tinggi. Tahap aktivasi menggunakan gelombang mikro dengan prinsip *green chemistry* yang berguna untuk mengurangi penggunaan bahan kimia, harga yang relative murah dan dampak yang lebih kecil terhadap lingkungan. Variasi waktu adalah 1, 2, 3, 4 dan 5 menit dengan daya 150 watt, 300 watt dan 450 watt. Hasil aktivasi dilakukan dengan uji karakterisasi (kadar zat mudah menguap, kadar abu, kadar air, daya serap iod dan kadar karbon terikat).

TABEL 1  
UJI KARAKTERISTIK KARBON AKTIF DAYA 150 WATT

Waktu	Kadar air (%)	Kadar abu (%)	Kadar zat mudah menguap (%)	Kadar karbon terikat (%)	Daya serap iod (mg / g)
1 menit	1.66	5.60	10.29	84.11	754,6069
2 menit	1.62	5.58	7.39	87.03	784,7931
3 menit	1.73	5.68	9.51	84.81	760,8952
4 menit	1.88	5.66	8.65	85.69	779,7604
5 menit	2.29	5.99	8.63	85.38	773,4720

Dari tabel diatas dapat dilihat pada pengujian kadar air yang bertujuan untuk mengetahui tingkat higroskopis yang dihasilkan serta kandungan air dalam karbon aktif. Kadar air tertinggi pada menit ke-5 dengan daya 450 watt sebesar 2.62% dan kadar air terendah pada menit ke-2 dengan daya 300 watt sebesar 1.54%.

TABEL 2  
UJI KARAKTERISTIK KARBON AKTIF DAYA 300 WATT

Waktu	Kadar air (%)	Kadar abu (%)	Kadar zat mudah menguap (%)	Karbon terikat (%)	Daya serap iod (mg / g)
1 menit	1.6	5.34	6.05	88.61	802.9868
2 menit	1.54	4.76	5.09	90.15	829.4040
3 menit	1.67	4.77	10.1578	85.0722	765.6523
4 menit	1.72	4.59	9.19	86.22	786.7931
5 menit	1.89	4.41	6.19	89.4	817.4907

Pengujian kadar zat mudah menguap yang bertujuan untuk mengukur kandungan senyawa yang belum menguap pada proses aktivasi. Komponen yang terkandung didalam karbon aktif adalah, abu, karbon terikat, air, sulfur dan nitrogen. Kadar zat mudah menguap tertinggi pada daya radiasi 450 watt selama 3 menit sebesar 11.48% dan kadar zat mudah menguap terendah pada daya 300 watt selama 2 menit sebesar 5.09%.

TABEL 3.  
UJI KARAKTERISTIK KARBON AKTIF DAYA 450 WATT

Waktu	Kadar air (%)	Kadar abu (%)	Kadar zat mudah menguap (%)	Karbon terikat (%)	Daya serap iod (mg / g)
1 menit	2.25	4.61	8.95	86.44	792.3372
2 menit	2.04	4.40	6.77	88.83	811.2023
3 menit	2.31	4.59	11.48	83.93	754,6069
4 menit	2.49	4.38	10.64	84.98	765.6523
5 menit	2.62	4.54	9.05	86.41	786.7931

Selanjutnya kadar abu biasanya mengandung Kalium, Natrium, Magnesium dan Kalsium. Pengujian kadar abu untuk menentukan abu yang terdapat pada karbon aktif, dimana abu bertindak sebagai pengotor yang dapat mempengaruhi kualitas dari karbon aktif. Kadar abu tertinggi pada daya 150 watt selama 5 menit sebesar 5,99% dan kadar abu terendah pada daya 450 watt selama 4 menit sebesar 4,38%.

Kadar karbon terikat yaitu jumlah murni yang terikat di dalam karbon aktif dengan SNI minimal 65% untuk karbon aktif berbentuk serbuk. Kadar karbon terikat dipengaruhi oleh kadar zat mudah menguap dan kadar abu. Kadar karbon terikat tertinggi pada daya 300 watt selama 2 menit sebesar 90.15% dan terendah pada daya 150 watt selama 1 menit sebesar 84.11%.

Daya serap iod ini menunjukkan kualitas dari karbon aktif. Semakin tinggi daya serap iodnya maka semakin baik karbon aktif yang dihasilkan. Daya serap iod tertinggi terdapat pada daya 300 watt selama 2 menit sebesar 829.4040 mg / g dan terendah pada daya 150 watt selama 1 menit sebesar 754.6069 mg / g. Peningkatan daya serap iod pada karbon setelah diaktivasi dikarenakan adanya pengaruh nyata yang diberikan oleh gelombang *microwave* sebagai activator karbon. Pada

tahap aktivasi di dalam *microwave* mengandung gelombang listrik dan gelombang magnet yang bergerak secara bersamaan kerana bertemu dengan molekul polar salah satunya yang menghasilkan panas lalu akan berotasi. Dari rotasi tersebut memanaskan karbon yang mengalahkan energi Van Der Waals menyebabkan pengotor pengotor pada karbon menghilang [4].

#### IV. KESIMPULAN

1. Karbon aktif optimum dari limbah cangkang kelapa sawit yang diperoleh pada tahap karbonisasi adalah 400°C selama 90 menit dan pada tahap aktivasi menggunakan *microwave* dengan daya radiasi 300 watt selama 2 menit.
2. Uji karakterisasi FTIR memiliki pita serapan kuat pada bilangan gelombang 1140 cm<sup>-1</sup> dan 1030 cm<sup>-1</sup>.
3. Karbon aktif dari cangkang kelapa sawit menggunakan aktivator *microwave* yang dihasilkan telah memenuhi Standar Nasional Indonesia (SNI 06-3730-1995).
4. Berdasarkan hasil karbon aktif dari limbah cangkang kelapa sawit sebagai adsorben ion logam timbal Pb<sup>2+</sup> mampu menyerap dengan kapasitas serapan 13.3868 mg / g menggunakan persamaan Langmuir.

#### UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Lembaga PNPB yang telah mendanai penelitian ini, terima kasih kepada bapak pembimbing dan teman-teman mahasiswa yang membantu dalam penulisan artikel ini. Tidak lupa pula terima kasih kepada bapak / ibu analisis di Laboratorium Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Padang.

#### REFERENSI

- [1] Acharya, J., Sahu, J. N., Sahoo, B. K., Mohanty, C. R., & Meikap, B. C. (2009). Removal of chromium(VI) from wastewater by activated carbon developed from Tamarind wood activated with zinc chloride. *Chemical Engineering Journal*, 150(1), 25–39. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2008.11.035>
- [2] Arami-niya, A., Mohd, W., Wan, A., Mjalli, F. S., & Abnisa, F. (2011). Chemical Engineering Research and Design Production of microporous palm shell based activated carbon for methane adsorption: Modeling and optimization using response surface methodology. *Chemical Engineering Research and Design*, 90(6), 776–784. <https://doi.org/10.1016/j.cherd.2011.10.001>
- [3] Azim, M., Ismail, K., Azlan, M., Ishak, M., Ab, Z., Fauzi, M., ... Mohd, N. (2013). Microwave-assisted pyrolysis of palm kernel shell: Optimization using response surface methodology (RSM). *Journal ELSEVIER*, 55, 357–365. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2012.12.042>
- [4] Belwal, S. (2013). Green Revolution in Chemistry by Microwave Assisted Synthesis: A Review. *Modern Chemistry*, 1(3), 22. <https://doi.org/10.11648/j.mc.20130103.11>
- [5] Chen, Dong; Sharma, K.Sanjay; Mudhoo, A. (2012). *Handbook on Applications of Ultrasonochemistry for Sustainability*.
- [6] Choi, G., Oh, S., Lee, S., & Kim, J. (2015). Bioresource Technology Production of bio-based phenolic resin and activated carbon from bio-oil and biochar derived from fast pyrolysis of palm kernel shells. *Bioresource Technology*, 178, 99–107. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2014.08.053>
- [7] Gultom, E. M., & Lubis, M. T. (2014). APLIKASI KARBON AKTIF DARI CANGKANG KELAPA SAWIT DENGAN AKTIVATOR H 3 PO 4 UNTUK PENYERAPAN LOGAM BERAT Cd DAN Pb. *Jurnal Teknik Kimia*, 3(1), 5–10.
- [8] Herrero, M. A., Kreamer, J. M., & Kappe, C. O. (2008). Nonthermal microwave effects revisited: On the importance of internal temperature monitoring and agitation in microwave chemistry. *Journal of Organic Chemistry*, 73(1), 36–47. <https://doi.org/10.1021/jo7022697>
- [9] Hidayu, A. R., & Muda, N. (2016). Preparation and characterization of impregnated activated carbon from palm kernel shell and coconut shell for CO<sub>2</sub> capture. *Procedia Engineering*, 148, 106–113. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.06.463>
- [10] Keey, R., Min, L., Chong, Y., & Yui, O. (2018). Production of activated carbon as catalyst support by microwave pyrolysis of palm kernel shell: a comparative study of chemical versus physical activation. *Research on Chemical Intermediates*. <https://doi.org/10.1007/s11164-018-3388-y>
- [11] Kristianto, H. (2017). Review: Sintesis Karbon Aktif Dengan Menggunakan Aktivasi Kimia ZnCL<sub>2</sub>. *Integrasi*, 6(3), 104–111. [11]
- [12] Marsh, H., & Rodriguez-reinoso, F. (2006). *Activated Carbon*.
- [13] Rugayah, A. F., Astimar, A. A., & Norzita, N. (2014). PREPARATION AND CHARACTERISATION OF ACTIVATED CARBON FROM PALM KERNEL SHELL BY PHYSICAL ACTIVATION WITH STEAM. *Journal of Oil Palm Research*, 26(September), 251–264.
- [14] Seaman, J. C. (2000). Thin-foil SEM analysis of soil and groundwater colloids: Reducing instrument and operator bias. *Environmental Science and Technology*, 34(1), 187–191. <https://doi.org/10.1021/es990567j>
- [15] Tan, X., Liu, S., Liu, Y., Gu, Y., Zeng, G., Hu, X., ... Jiang, L. (2016). Biochar as potential sustainable precursors for activated carbon production: multiple applications in environmental protection and energy storage. *Bioresource Technology*. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2016.12.083>
- [16] Timur, S., Cem, I., Onenc, S., & Yanik, J. (2010). Journal of Analytical and Applied Pyrolysis Characterization and application of activated carbon produced from oak cups pulp. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 89(1), 129–136. <https://doi.org/10.1016/j.jaap.2010.07.002>