



PEMANFAATAN ARANG AKTIF DARI TONGKOL JAGUNG SEBAGAI ADSORBEN ION Pb^{2+}

Melani Ganing^{a,*}, Achmad Qodim Syafaatullah^a, Andi Asdiana Irma Sari Yusuf^a, Fitri Junianti^a, Annisa Inayah Suleman^a

^aProgram Studi Teknik Kimia Mineral, Politeknik ATI Makassar
Jalan Sunu No. 220, Kota Makassar, 90211

*E-mail: melanimg@atim.ac.id

Masuk Tanggal : 26 September, revisi tanggal: 30 September, diterima untuk diterbitkan tanggal : 20 Desember 2023

Abstrak

Tongkol jagung kering biasanya menjadi limbah dan dibakar begitu saja yang tentunya akan mengakibatkan cemaran lingkungan. Kondisi ini dapat menjadi salah satu motivasi untuk memproduksi bahan yang bernilai tambah dari limbah tongkol jagung untuk dijadikan arang aktif. Arang aktif merupakan arang yang telah ditingkatkan daya adsorpsinya dengan proses karbonisasi atau pemanasan dan proses aktivasi. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh waktu aktivasi arang aktif tongkol jagung terhadap adsorpsi ion Pb^{2+} . Proses pembuatan arang aktif dilakukan menggunakan aktivator NaOH 1,75%. Arang aktif dibuat dengan memvariasikan waktu aktivasi yaitu 30, 60, 90, 120, 150, 180, dan 210 (menit). Waktu aktivasi maksimum yang diperoleh yaitu pada menit ke-150 dengan daya adsorpsi sebesar 0.7146 mg/g. Mutu arang yang diperoleh dapat ditinjau dari kadar air dan kadar abu yang dihasilkan yaitu kadar air sebesar 14,28 % dan kadar abu sebesar 8,11%. Standar mutu arang aktif yang ditetapkan oleh SNI 06-3730-95 yaitu kadar air sebesar 15% dan kadar abu sebesar 10%.

Kata Kunci: Tongkol jagung, Arang aktif, Waktu aktivasi, Adsorpsi, Spektrofotometer serapan atom (SSA).

Abstract

Dry corn cobs usually become waste and are simply burned, resulting in environmental pollution. This condition can be one of the motivations for producing materials with added value from corncob waste to be used as activated charcoal. Activated charcoal has increased its adsorption capacity through carbonization, heating and activation processes. This study aims to determine the effect of the activation time of corncob activated charcoal on the adsorption of Pb^{2+} ions. Making activated charcoal is carried out using 1.75% NaOH activator. Activated charcoal was prepared by varying the activation time, namely 30, 60, 90, 120, 150, 180, and 210 (minutes). The maximum activation time obtained was in the 150 minutes with an adsorption capacity of 0.7146 mg/g. The quality of the charcoal obtained can be seen from the water content and ash content produced, namely the water content of 14.28% and the ash content of 8.11%. The quality standard for activated charcoal set by SNI 06-3730-95 is a water content of 15% and an ash content of 10%.

Keywords: Corn cob, Active charcoal, Activation time, Adsorption, Atomic absorption spectrophotometer (AAS).

1. PENDAHULUAN

Logam berat termasuk dalam jenis polutan yang memiliki potensi mencemarkan lingkungan, dan kekhasannya adalah kemampuannya untuk bertumpuk dalam jangka waktu lama sehingga efek beracunnya tidak segera terlihat. Salah satu contoh logam berat yang seringkali terkait dengan

dampak polusi dan sifat beracunnya adalah logam timbal (Pb) [1]. Umumnya, limbah beracun memiliki bentuk cair dan mengandung komponen kimia seperti logam berat [2]. Salah satu permasalahan khusus yang berkaitan dengan polusi logam berat di lingkungan adalah kemampuannya untuk mengakumulasi dalam jaringan makanan serta keberadaannya yang dapat

membahayakan ekosistem dan organisme hidup di alam [3].

Telah dilakukan berbagai usaha untuk mengurangi atau menghilangkan ion logam berat dari limbah industri, seperti melalui teknik pertukaran ion, pemisahan menggunakan membran, proses koagulasi, dan metode adsorpsi. Dari sejumlah metode tersebut, adsorpsi adalah metode yang paling umum digunakan karena memiliki konsep yang lebih sederhana dan ekonomis [4]. Adsorpsi adalah proses akumulasi adsorbat pada permukaan adsorben yang terjadi karena adanya gaya tarik antara molekul adsorbat dan permukaan adsorben [5].

Metode adsorpsi dilakukan dengan menggunakan bahan mentah yang dapat diubah menjadi arang aktif. Bahan mentah ini melibatkan semua materi yang mengandung unsur karbon, termasuk yang berasal dari tumbuhan seperti sisa pertanian, hewan, dan bahkan batu bara. Salah satu contoh sisa pertanian adalah limbah tongkol jagung. Setelah proses pertanian jagung, akan terbentuk limbah berupa tongkol jagung yang jumlahnya terus meningkat seiring dengan peningkatan aktivitas pasca panen [6]. Karena konsumsi jagung yang tinggi, limbah tongkol jagung juga terakumulasi dan berpotensi mencemari lingkungan. Sejauh ini, masyarakat di daerah pedalaman seringkali menggunakan limbah tongkol jagung sebagai bahan bakar, tanpa memanfaatkannya sepenuhnya. Oleh karena itu, diperlukan penelitian untuk mengurangi volume limbah tongkol jagung dan meningkatkan nilai tambahnya.

Usaha yang dilakukan untuk mengoptimalkan pemanfaatan limbah pertanian tersebut adalah dengan mengolahnya menjadi arang aktif yang kemudian digunakan sebagai agen adsorpsi. Hal ini disebabkan oleh kandungan senyawa berkarbon dalam limbah tersebut, seperti selulosa (40-44%), hemiselulosa (31-33%), dan lignin (16-18%), yang menunjukkan potensi tongkol jagung sebagai bahan mentah untuk pembuatan agen adsorpsi [4]. Kandungan selulosa yang tinggi membuat tongkol jagung dapat berperan sebagai alternatif bahan baku dan memiliki potensi digunakan sebagai agen adsorpsi untuk mengurangi polusi lingkungan [7]. Oleh karena itu, pengolahan limbah tongkol jagung memberikan banyak keuntungan karena dapat menjadi bahan mentah utama dalam proses adsorpsi.

Arang aktif merupakan bentuk karbon yang telah ditingkatkan kemampuan penyerapannya melalui proses karbonisasi dan aktivasi. Selama proses ini, unsur hidrogen, gas, dan air dihilangkan dari permukaan karbon, mengakibatkan perubahan fisik pada struktur

permukaannya. Selain digunakan sebagai sumber energi, arang juga berfungsi sebagai agen adsorpsi yang mampu menyerap zat-zat tertentu. Kemampuan penyerapannya bergantung pada luas permukaan partikel, dan kapabilitas ini dapat ditingkatkan melalui proses aktivasi [8]. Pada umumnya, pembuatan arang aktif melibatkan reaksi kimia dengan bahan tambahan. Bahan kimia seperti hidroksida logam alkali, garam karbonat, klorida, sulfat, fosfat, dan logam alkali tanah seperti $ZnCl_2$, $NaOH$, H_3PO_4 , serta uap air pada suhu tinggi, digunakan sebagai agen pengaktifan [9].

Pada tahun 2010, Hartanto dan Ratnawati melakukan eksperimen untuk mengaktifkan arang tempurung kelapa sawit dengan tiga jenis bahan pengaktif, yaitu $NaOH$, $NaCl$, dan HCl . Hasil penelitian mereka mengungkapkan bahwa $NaOH$ memiliki kualitas arang aktif yang lebih unggul, dilihat dari parameter seperti kadar air, kadar abu, dan daya serap terhadap iodin. Proses pengaktifan menggunakan $NaOH$ menunjukkan prestasi terbaik dengan kadar air arang aktif sebesar 3,6% dan daya serap I_2 mencapai 851,8797 mg/g. Berdasarkan temuan ini, peneliti memilih $NaOH$ sebagai bahan pengaktif utama. Selain pertimbangan ekonomi, pemilihan ini juga didasarkan pada potensi menghasilkan arang berkualitas tinggi.

Sebelumnya, telah dilaksanakan studi mengenai peningkatan arang aktif dari tongkol jagung untuk menjadi adsorben logam berat $Pb(II)$ [11]. Penelitian ini mempertimbangkan variasi konsentrasi $NaOH$, dan hasilnya menunjukkan konsentrasi optimal $NaOH$ sebesar 1,75% dengan daya serap sebesar 0,5491 mg/g. Maka dari itu, hal ini mendorong peneliti untuk menginvestigasi dampak waktu aktivasi terhadap kemampuan arang aktif dari tongkol jagung dalam menyerap ion Pb^{2+} menggunakan bahan pengaktif $NaOH$.

2. PROSEDUR PERCOBAAN

2.1 Bahan

Bahan penelitian yang digunakan pada penelitian ini adalah tongkol jagung, $NaOH$ p.a, HNO_3 pekat, aluminium foil, aquades, kertas saring Whatman, dan padatan $Pb(NO_3)_2$.

2.2 Alat

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini termasuk peralatan gelas standar, seperti cawan porselin, eksikator, tanur, neraca digital, shaker merek Stuart, stopwatch, oven, serta ayakan dengan ukuran $\pm 100/200$ mesh. Selain itu, juga digunakan Spektrofotometer Serapan Atom (SSA) tipe Analyst 400 Perkin Elmer.

2.3 Preparasi Arang Aktif

Proses produksi arang aktif terdiri dari tiga tahap utama: dehidrasi, karbonisasi, dan aktivasi. Eksperimen dimulai dengan menyiapkan bahan mentah, yaitu tongkol jagung yang telah dibersihkan dari kotoran dan diiris menjadi potongan-potongan kecil. Tahap pertama adalah dehidrasi, di mana bahan mentah yang telah disiapkan dikeringkan dalam oven pada suhu 105°C selama 3 jam.

Tahap karbonisasi dilakukan dengan menempatkan bahan mentah dalam cawan porselin dan kemudian dipanaskan dalam tanur pada suhu sekitar 300°C selama 1 jam. Setelah itu, produk karbon diambil dan didinginkan. Arang yang telah mendingin kemudian dihaluskan dengan menggiling atau menghancurkannya hingga mencapai ukuran yang diinginkan. Arang ini juga diayak menggunakan saringan dengan ukuran 100 mesh agar mencapai konsistensi yang diinginkan.

2.4 Aktivasi Arang Tongkol Jagung

Pada proses aktivasi, Arang hasil karbonisasi ditimbang sebanyak 10 gram dan diaktivasi dengan NaOH konsentrasi 1,75 %. Proses aktivasi ini dilakukan pada suhu 60°C dan ditempatkan dalam shaker dengan variasi waktu selama 30, 60, 90, 120, 150, 180, dan 210 menit. Setelah itu, arang disaring dan dicuci menggunakan air panas, kemudian dicuci lagi dengan air dingin hingga pH mencapai 7. Arang yang telah dicuci dikeringkan dalam oven pada suhu 105°C selama 2 jam dan ditimbang. Larutan sampel Pb²⁺ dengan konsentrasi 25 ppm sebanyak 25 mL dimasukkan ke dalam 21 erlenmeyer yang berbeda. Tiap erlenmeyer diberi tambahan 0,5 gram arang aktif, dicampur dengan menggunakan shaker selama 2 jam, dan kemudian disaring. Selanjutnya, absorbansi filtrat diukur menggunakan Spektrofotometer Serapan Atom (SSA).

2.5 Tahap Analisa Mutu Arang Aktif

2.5.1 Penentuan Kadar Air (SNI, 1995)

Satu gram arang aktif diletakkan dalam cawan petri yang sudah memiliki bobot yang diketahui. Cawan yang berisi sampel dikeringkan dalam oven pada suhu 105°C selama 3 jam, didinginkan dalam eksikator, dan kemudian ditimbang. Proses pengeringan dan penimbangan ini diulangi setiap 1 jam sampai diperoleh bobot yang konstan. Untuk menghitung kadar air, digunakan persamaan:

$$\text{Kadar air (\%)} = \frac{a-b}{a} \times 100\% \quad (1)$$

Keterangan:

a = bobot sampel sebelum pemanasan (g)

b = bobot sampel sesudah pemanasan (g).

2.5.2 Penentuan Kadar Abu (SNI, 1995)

Sebanyak 1 gram arang aktif diukur dan diletakkan ke dalam cawan porselin yang beratnya telah diketahui. Selanjutnya, arang tersebut dimasukkan dalam tanur pada suhu 600°C selama 2 jam. Setelah itu, arang didinginkan dalam eksikator selama satu jam dan kemudian ditimbang hingga beratnya stabil. Untuk menghitung kadar abu, digunakan persamaan:

$$\text{Kadar abu (\%)} = \frac{b}{a} \times 100\% \quad (2)$$

Keterangan:

a = bobot awal sampel (g)

b = bobot sisa sampel (abu) (g).

2.6 Analisis Data

Pada penelitian ini, analisis data dilakukan secara deskriptif dengan memeriksa data yang diperoleh dari pengujian di laboratorium. Selain itu, grafik dibuat untuk memahami dampak konsentrasi bahan pengaktif pada proses aktivasi arang aktif.

2.6.1 Perhitungan Jumlah Ion Pb²⁺ yang Teradsorpsi

Jumlah ion logam yang teradsorpsi (dalam mg/g) oleh arang aktif dari tongkol jagung dihitung menggunakan persamaan:

$$W = \frac{(C_0 - C_e)V}{W_a} \quad (3)$$

Keterangan:

W = jumlah ion logam teradsorpsi (mg/g)

C₀ = konsentrasi ion logam sebelum adsorpsi (mg/L)

C_e = konsentrasi ion logam setelah adsorpsi (mg/L)

V = volume larutan ion logam (L)

W_a = jumlah arang aktif (g)

2.6.2 Perhitungan Persen Daya Serap

Perhitungan daya serap dari arang aktif dapat ditentukan dengan persamaan:

$$\text{daya serap (\%)} = \frac{c}{c_0} \times 100\% \quad (4)$$

Keterangan :

$$C = C_0 \text{ (blanko) ppm} - C_c \text{ (sampel) ppm}$$

2.6.3 Uji F (ANOVA satu jalur)

Dalam penelitian ini, dilakukan pengolahan data dengan menerapkan teknik analisis data menggunakan uji ANOVA (Analisis of Variance) untuk mengidentifikasi adanya pengaruh yang signifikan dalam penelitian ini.

Analisis ANOVA digunakan untuk mengungkapkan dampak setiap perlakuan melalui uji F pada tingkat kepercayaan 5%. Jika terdapat perbedaan yang signifikan, langkah selanjutnya akan melibatkan uji perbedaan nyata terkecil (BNT).

Tabel 1. Analisis Sidik Ragam Satu Arah

Sumber keragaman	dB	Jumlah Kuadrat (JK)	Kuadrat Total (KT)	F hitung	F tabel
Perlakuan	p-1	Jumlah Kuadrat Perlakuan (JKP)	JKP/dBP	KTP/KTG	F(p-1); p(n-1)
Galat	P(n-1)	Jumlah Kuadrat Galat (JKG)	JKG/dBG		
Total	Pn-1	Jumlah Kuadrat Total (JKT)			

Keterangan :

P = jumlah perlakuan atau variasi perlakuan

n = jumlah Replikasi

$$\text{Jumlah Kuadrat Perlakuan (JKP)} = \frac{\sum(\text{jumlah hasil perlakuan})^2}{n} - FK \quad (5)$$

$$\text{Jumlah Kuadrat Total (JKT)} = \sum(Y_i)^2 - FK$$

$$\text{Jumlah Kuadrat Galat (JKG)} = \text{JKT} - \text{JKP}$$

Jika $F_{hitung} \leq F_{tabel}$, maka H_0 diterima

H_0 : tidak ada perbedaan yang signifikan

H_1 : terdapat perbedaan yang signifikan

2.6.4 BNT (Beda Nyata Terkecil)

Uji beda nyata terkecil dilakukan untuk mengetahui perbedaan antara perlakuan. Nilai BNT ditentukan dari persamaan:

$$\text{BNT} = t_{\left(\frac{\alpha}{2}, db \text{ galat}\right)} \sqrt{\frac{2 \text{KT galat}}{n}} \quad (6)$$

Keterangan : KTG = Kuadrat Total Galat
n = Jumlah replikasi

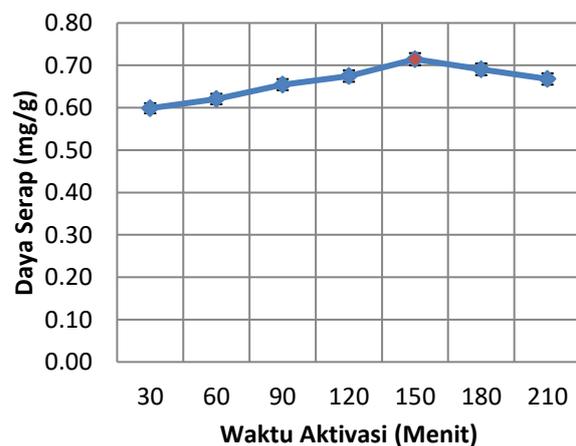
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Proses pembuatan karbon aktif dari tongkol jagung telah dijalankan dengan berbagai variasi waktu aktivasi. Waktu optimal untuk aktivasi dengan menggunakan NaOH dapat diketahui dengan mengamati jumlah ion Pb^{2+} yang diadsorpsi oleh arang aktif yang berasal dari tongkol jagung. Tujuan dari penentuan waktu aktivasi yang paling efektif adalah untuk mengidentifikasi pada durasi berapa terjadi penyerapan ion Pb^{2+} yang paling maksimal. Rincian temuan dari penelitian ini tercatat dalam Tabel 2.

Tabel 2. Rerata Ion Pb^{2+} yang Teradsorpsi dengan Menggunakan Arang Aktif Tongkol Jagung pada Berbagai Variasi waktu Aktivasi

Waktu Aktivasi (menit)	Konsentrasi Pb pada waktu t (C_e) (mg/L)	Konsentrasi Pb yang terserap ($C_0 - C_e$) (mg/L)	Daya serap (mg/g)	Standar Deviasi
30	12,8033	11,9793	0,5988	0.1356
60	12,3722	12,4104	0.6205	0.3309
90	11,6900	13,0926	0.6545	0.1700
120	11,2878	13,4948	0.6748	0.0781
150	10,4900	14,2926	0.7146	0.0831
180	10,9622	13,8204	0.6907	0.1118
210	11,4278	13,3548	0.6678	0.1225

Dari Tabel 2 dan Gambar 1 menandakan bahwa daya serap optimum dicapai pada waktu 150 menit dengan daya serap sebesar 0,7146 mg/g.



Gambar 1. Grafik Hubungan Antara Daya Serap (mg/g) Arang Aktif Tongkol Jagung terhadap Ion Pb^{2+} pada berbagai Variasi Waktu

Hasil uji statistik dengan tingkat signifikansi 0,05 menunjukkan bahwa nilai F hitung melebihi nilai F_{tabel} ($43,8692 > 2,85$), karena F hitung $> F_{tabel}$, maka hipotesis alternatif (H_1) diterima. Artinya, variasi waktu aktivasi pada setiap

tahapan pembuatan arang aktif memiliki dampak signifikan terhadap kemampuan adsorpsi. Hal ini mengungkapkan bahwa waktu aktivasi memiliki pengaruh yang nyata terhadap kemampuan arang aktif dalam menyerap ion Pb^{2+} dari larutan. Berdasarkan uji BNT, terbukti bahwa kuantitas ion Pb^{2+} yang teradsorpsi berbeda secara signifikan pada setiap rentang waktu.

Waktu aktivasi memiliki peranan penting dalam memengaruhi tahap penyerapan. Aktivasi ini merujuk pada langkah yang bertujuan untuk memperbesar ukuran pori-pori arang, sehingga area permukaan arang akan meningkat karena hidrokarbon yang tadinya menghambat pori-pori akan terlepas. Selama proses perendaman dengan agen pengaktif, inti dari tindakan ini adalah untuk mengurangi kadar tar, yang berdampak pada perluasan pori-pori dalam arang aktif. Ini mengakibatkan peningkatan signifikan pada luas permukaan arang aktif, dengan akibat meningkatnya kapabilitas daya serapnya [12].

Dalam hasil penelitian ini, waktu optimal aktivasi untuk menyerap ion Pb^{2+} terjadi pada menit ke-150. Grafik menunjukkan adanya peningkatan daya serap dari menit 30 hingga 150, namun kemudian mengalami penurunan dari menit ke-150 hingga ke-210. Pada saat menit ke-150, arang aktif yang terbentuk memiliki permukaan pori yang optimal untuk menyerap ion Pb^{2+} . Di lain pihak, pada rentang waktu antara menit ke-30 hingga ke-120, permukaan pori dalam arang aktif belum sepenuhnya terbuka untuk menyerap ion Pb^{2+} . Ketika mencapai menit ke-180 hingga ke-210, terjadi penurunan yang diakibatkan oleh fakta bahwa semakin lama aktivasi berlangsung, semakin banyak larutan NaOH yang meresap ke dalam arang aktif dari tongkol jagung. Kondisi ini menyebabkan pori-pori arang aktif mengalami kejenuhan, di mana pori-porinya tertutup oleh NaOH yang terserap. Akibatnya, kapasitas penyerapan menurun. Menurut Ningsih [13], mengungkapkan bahwa saat permukaan adsorben mencapai kejenuhan atau mendekati kejenuhan, adsorbat yang belum teradsorpsi akan berdifusi keluar pori dan kembali ke larutan.

Penurunan daya serap logam timbal ini disebabkan oleh waktu kontak antara adsorbat dan adsorben yang melewati batas waktu optimal, yang akhirnya mengakibatkan proses desorpsi.

Desorpsi sebagai pelepasan adsorbat dari permukaan adsorben. Fenomena ini muncul akibat jenuhnya permukaan adsorben, sehingga molekul adsorbat yang sebelumnya terserap kembali larut dalam larutan [14].

Pengujian kualitas arang aktif mencakup analisis kadar air dan kadar abu. Hasil dari analisis ini dapat diakses dalam Tabel 3 dan kemudian dibandingkan dengan standar arang aktif yang telah ditetapkan oleh SNI No. 06-3730-95. Hal ini bertujuan untuk mengevaluasi kualitas dari arang aktif yang telah diproduksi.

Tabel 3. Hasil Pengujian Mutu Arang Aktif Tongkol Jagung

karakterisasi	Hasil (%)	Standar Mutu sesuai SNI
Kadar air	14,28	Maks 15 %
Kadar abu	8,11	Maks 10 %

Keberadaan air dalam arang aktif berkaitan dengan sifat higroskopisnya. Proses pengukuran kadar air dilakukan untuk menilai seberapa banyak air yang masih terperangkap dalam pori-pori karbon. Semakin sedikit kadar air yang terdapat dalam arang, semakin efisien kemampuan penyerapan arang, karena semakin banyak pori arang yang terbuka. Hasil analisis menunjukkan kadar air sebesar 14,28%, yang sesuai dengan standar arang aktif yang telah ditetapkan oleh SNI 06-3730-95, di mana batas maksimalnya adalah 15%.

Tujuan penetapan kadar abu adalah untuk mengevaluasi jumlah mineral yang tersisa setelah proses karbonisasi, mengingat bahwa komponen bahan dasar arang aktif tidak hanya terdiri dari karbon tetapi juga mengandung mineral seperti oksida logam. Hasil analisis mengindikasikan bahwa kadar abu dalam arang aktif yang dihasilkan mencapai 8,11%. Fakta ini menggambarkan bahwa arang aktif yang dihasilkan dari tongkol jagung telah memenuhi standar kualitas yang diatur dalam SNI No. 06-3730-95, yang menetapkan batasan maksimal kadar abu sebesar 10%.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa:

1. Semakin lama waktu aktivasi arang aktif maka semakin tinggi daya serapnya. Dari uji statistik yang dilakukan dapat disimpulkan

bahwa waktu aktivasi berpengaruh terhadap adsorpsi ion Pb^{2+} menggunakan arang aktif tongkol jagung. Berdasarkan uji BNT diketahui bahwa ion Pb^{2+} yang teradsorpsi berbeda nyata pada setiap waktu aktivasi yang digunakan.

2. Waktu aktivasi maksimum aktivator NaOH dalam mengaktivasi arang aktif tongkol jagung yaitu pada menit ke-150 dengan daya serap sebesar 0,7146 mg/g.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Program Studi Teknik Kimia Mineral, Politeknik ATI Makassar.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] U. M. Anggriani, A. Hasan dan I. Purnamasari, "Kinetika Adsorpsi Karbon Aktif dalam Penurunan Konsentrasi Logam Tembaga (Cu) dan Timbal (Pb)," *Jurnal Kinetika*, Vol. 12, No. 02, pp. 29-37, 2021.
- [2] Nurhasni, Hendrawati dan N. Saniyyah, "Sekam Padi untuk Menyerap Ion Logam Tembaga dan Timbal dalam Air Limbah," *Jurnal Kimia Valensi*, Vol. 4, No.1, pp.36-44, 2014.
- [3] R. Rahmi dan Sajidah, "Pemanfaatan Adsorben Alami (Biosorben) untuk Mengurangi Kadar Timbal (Pb) dalam Limbah Cair," *Prosiding Seminar Nasional Biotik 2017*, ISBN: 978-602-60401-3-8, pp. 271-279.
- [4] N. Rokhati, et al., "Pemanfaatan Tongkol Jagung sebagai Adsorben Limbah Logam Berat," *Inovasi Teknik Kimia*, Vol.6, No. 2, pp. 89-94, 2021.
- [5] A. Halim, J. Romadon dan M. Y. Achyar, "Pembuatan Adsorben dari Sekam Padi sebagai Penyerap Logam Berat Tembaga (Cu) dan Timbal (Pb) dalam Air Limbah," *Jurnal SEOI*, Vol. 3, No. 2, pp. 66-74, 2021.
- [6] E. Purnamawati, Ruslan, A. Wiraningtyas dan A. Munandar, "Pemanfaatan Arang Aktif Dari Tongkol Jagung (Zea Mays L.) Sebagai Adsorben Zat Warna Sintetis Ungu," *Jurnal Redoks: Jurnal Pendidikan Kimia dan Terapan*, Vol.2, No. 2, pp. 43- 48, 2019.
- [7] D. Martina, R. Hastuti dan D. S. Widodo, "Peran Adsorben Selulosa Tongkol Jagung (Zea mays) dengan Polivinil Alkohol (PVA) untuk Penyerapan Ion Logam Timbal (Pb^{2+})," *Jurnal Kimia Sains dan Aplikasi*, Vol.19, No.3, pp. 77-82, 2016.
- [8] R. Dewi, Azhari dan I. Nofriadi, "Aktivasi Karbon dari Kulit Pinang dengan menggunakan Aktivator Kimia KOH," *Jurnal Teknologi Kimia Unimal*, Vol. 9, No.2, pp. 12-22, 2020.
- [9] Meilianti, "Pembuatan Karbon Aktif Dari Arang Tongkol Jagung Dengan Variasi Konsentrasi Aktivator Natrium Karbonat (Na_2CO_3)," *Jurnal Distilasi*. Vol. 5, No. 1, pp. 14-20, 2020.
- [10] S. Hartanto dan Ratnawati "Pembuatan Karbon Aktif dari Tempurung Kelapa Sawit dengan Metode Aktivasi Kimia," *Jurnal Sains Materi Indonesia*, Vol. 12, No. 1, 12-16, 2010.
- [11] M. Ganing "Pengaruh Konsentrasi Aktivator NaOH Pada Arang Aktif Tongkol Jagung Terhadap Adsorpsi Ion Pb^{2+} ," *Jurnal Teknik Kimia Mineral*. Vol 1, No.2, pp. 76-80, 2022.
- [12] L. M. Yuningsih, D. Mulyadi dan A.J. Kurnia "Pengaruh Aktivasi Arang Aktif dari Tongkol Jagung dan Tempurung Kelapa Terhadap Luas Permukaan dan Daya Serap Iodin," *Jurnal kimia VALENSI*, Vol. 2, No.1, pp. 30-34, 2016.
- [13] D. A. Ningsih, I. Said dan P. Ningsih, "Adsorpsi Logam Timbal (Pb) Dari Larutannya dengan Menggunakan Adsorben dari Tongkol Jagung," *Jurnal Akademika Kimia*, Vol. 5, No.2, pp. 55-60, 2016.
- [14] P. Atkins, "Kimia Fisika jilid II," Oxford: Oxford University Press. Terjemahan dari: *Physical Chemistry*, 1999.
- [15] SNI, "Arang Aktif Tehnis," Dewan Standarisasi Nasional, Jakarta, 1995.