



Mardi Irwanto<sup>1</sup>  
 Aman Sentosa  
 Panggabean<sup>2</sup>  
 Rudy Agung Nugroho<sup>3</sup>

## LIMBAH BATANG PISANG (MUSA PARADISIACA) SEBAGAI ADSORBEN H<sub>2</sub>S DI RUANG TERBATAS DENGAN MENGGUNAKAN AKTIVASI KOH DAN KARAKTERISASI FTIR (FOURIER TRANSFORM INFRARED)

### Abstrak

Hydrogen Sulfida (H<sub>2</sub>S) merupakan gas yang sangat berbahaya, beracun dan korosif. Penyebab utama kematian para pekerja di lingkungan ruang terbatas (*Confined Space*) salah satunya adalah H<sub>2</sub>S. Penggunaan adsorpsi dengan karbon aktif merupakan salah satu solusi dalam penyerapan H<sub>2</sub>S, khususnya di lingkungan ruang terbatas karena lebih praktis dan efektif. Aplikasi karbon aktif terhadap penyerapan dapat dilakukan menggunakan limbah batang pisang (musa paradisiaca) digunakan sebagai adsorben untuk adsorpsi H<sub>2</sub>S, menentukan suhu pirolisis optimal, serta menentukan persentase penurunan konsentrasi H<sub>2</sub>S di lingkungan ruang terbatas. Aplikasi perlakuan sebanyak 3 kali penguangan dengan suhu pirolisis masing-masing yaitu 250, 350 dan 750°C serta konsentrasi H<sub>2</sub>S diukur pada 10, 20 dan 30 menit untuk mengevaluasi hasil adsorpsinya. Hasil penelitian menunjukkan bahwa limbah batang pisang dapat dimanfaatkan sebagai sumber karbon aktif untuk adsorpsi gas H<sub>2</sub>S dan pada suhu pirolisis 750°C mampu menyerap secara optimum H<sub>2</sub>S di lingkungan ruang terbatas serta penurunan konsentrasi H<sub>2</sub>S di lingkungan ruang terbatas dengan menggunakan adsorben limbah batang pisang sebesar 81,61% dalam waktu 30 menit.

**Kata Kunci:** Batang Pisang, Aktivasi KOH, Adsorben H<sub>2</sub>S, Ruang Terbatas

### Abstract

The Health Information System (SIK) is a subsystem of the National Health System (SKN) which has the Hydrogen sulfide (H<sub>2</sub>S) is a very dangerous, toxic, and corrosive gas. One of the main causes of death in confined spaces is H<sub>2</sub>S. The use of activated carbon adsorption is one of the solutions to H<sub>2</sub>S absorption, especially in confined spaces environments, as it is more practical and effective. The application of activated carbon to absorption can be performed using the residues of the banana stems (musa paradisiaca) used as an adsorbent for H<sub>2</sub>S adsorption, determining the optimal pyrolysis temperature, and determining a percentage decrease in the concentration of H<sub>2</sub>S in a confined spaces environment. Three treatment along with pyrolysis temperatures of 250, 350, and 750 °C, respectively, and H<sub>2</sub>S concentrations measured at 10, 20, and 30 minutes to evaluate the adsorption results The results of the study show that banana stem waste can be utilized as a source of activated carbon for the adsorption of H<sub>2</sub>S gases and at a pyrolysis temperature of 750 °C, is able to optimally absorb H<sub>2</sub>S in a confined spaces environment as well as decrease the concentration of H<sub>2</sub>S in a restricted space environment by using an 81.61% adsorbent of banana stem waste within 30 minutes.

**Keywords:** Banana Stem, KOH Activation, H<sub>2</sub>S Adsorbent, Confined Space

### PENDAHULUAN

Emisi gas beracun merupakan bahan berbahaya yang dapat mencemari lingkungan dan mengancam kesehatan manusia serta makhluk hidup lainnya, salah satunya adalah gas H<sub>2</sub>S. Gas Hidrogen Sulfida (H<sub>2</sub>S) merupakan gas yang sangat berbahaya, beracun dan korosif, gas ini terbentuk dari ekstraksi minyak bumi, gas alam, dekomposisi bahan organik dan pengolahan air limbah. Gas H<sub>2</sub>S juga merupakan gas yang bersifat iritan pada sistem pernapasan utamanya dapat melumpuhkan pusat pernapasan (Tan et al, 2005).

<sup>1,2,3</sup>Universitas Mulawarman  
 email: mardi\_irwanto@yahoo.com

Menurut Widhiati dkk (2012), bahwa limbah batang pisang memiliki potensi yang dapat digunakan sebagai adsorben karena terdapat kadar hidrat arang yang cukup yaitu sekitar 49 gram per 100 gram batang pisang kering. Gugus karboksil, hidroksil dan karbonil merupakan gugus fungsional polar yang terkandung dalam struktur karbon sehingga dapat berinteraksi pada media gas atau cair baik berupa senyawa maupun ion.

Batang pisang kering juga memiliki kandungan selulosa yang banyak sekitar 50% (Husni dkk, 2004). Kajian penggunaan karbon aktif terhadap penyerapan H<sub>2</sub>S telah dilakukan salah satunya penggunaan limbah pertanian dari kulit kacang tanah sebagai karbon aktif berpori pada penggunaan penyerapan gas H<sub>2</sub>S di lingkungan ruang terbatas (Confined Space), suhu karbonasi memiliki pengaruh yang signifikan terhadap morfologi karbon aktif yaitu 350, 450, dan 550 dan diperoleh hasil yang efektif pada suhu 450°C dengan aktivasi KOH pada suhu 750°C (Wang et al, 2019).

Reaksi KOH terhadap karbon yaitu reaksi dehidrasi atau merupakan dehydrating agent sehingga permukaan pori-pori karbon aktif menjadi lebih banyak dan diharapkan terjadi efisiensi adsorpsi (Nurfitri dkk, 2019). Gugus fungsi biomassa batang pisang yang terimobilkan pada abu batubara sebagai teradsorpsi dalam ion logam besi (Fe) menjadi hidroksil (-OH), karboksil (COO), siloksan dan silanol (Sitorus dkk, 2014).

Kondisi kurangnya oksigen dan atmosfer yang beracun terutama H<sub>2</sub>S merupakan penyebab utama kematian pekerja di lingkungan ruang terbatas (Confined Spaced), setiap tahunnya pekerja tewas dalam kecelakaan ruang terbatas dengan tingkat kematian bervariasi antara 0,05 sampai 0,08 per 100.000 pekerja (Selman et al., 2019).

Berbagai teknik dan cara untuk menghilangkan H<sub>2</sub>S, seperti biotrickling filter, hidrodessulfurisasi, adsorpsi, dan oksidasi. Penggunaan adsorpsi dengan karbon aktif (AC) lebih efektif karena hemat biaya, kapasitas adsorpsi yang tinggi, desain yang sederhana, mudah dioperasikan, dan dapat diregenerasi.

Salah satu metode untuk mengolah limbah cair secara kimia adalah melalui proses adsorpsi. Proses adsorpsi dapat dilakukan dengan karbon aktif yang dibuat dari bahan bakar limbah yang mengandung karbon. Proses adsorpsi merupakan salah satu teknik pengolahan limbah yang diharapkan dapat digunakan untuk menurunkan konsentrasi H<sub>2</sub>S berlebih. Adsorben yang pernah digunakan dalam penelitian adsorpsi dengan memanfaatkan limbah pertanian antara lain adsorben dari tempurung kelapa (Prilianti, 2013), limbah kayu sengon (Abadi, 2005), limbah kayu jati (Azizah, 2009), dan kulit buah kapuk randu dengan aktivator ZnCl<sub>2</sub> (Budiman, 2001).

Adsorpsi telah menjadi perhatian dalam beberapa tahun terakhir ini sebagai salah satu sulfida dalam pengendalian kontaminan udara disebabkan H<sub>2</sub>S dengan biaya yang efisien dan teknik yang sederhana. Oleh karena itu pada penelitian ini akan dilakukan biosorpsi H<sub>2</sub>S dengan menggunakan batang pisang (*Musa paradisiaca*) teraktivasi KOH sebagai model sulfida dengan harapan dapat memperluas pemanfaatan limbah pertanian guna pemurnian udara dalam ruangan yang memiliki prospek dalam pengembangan kebutuhan peralatan rumah tangga.

Penelitian ini menguji batang pisang agar dapat digunakan sebagai adsorben untuk penyerapan H<sub>2</sub>S dan menentukan suhu pirolisis dalam pembuatan karbon aktif menggunakan batang pisang serta menentukan persentase penurunan konsentrasi H<sub>2</sub>S menggunakan adsorben batang pisang pada lingkungan ruang terbatas. Pengujian batang pisang dilakukan di Laboratorium Kimia Analitik, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam (FMIPA), Universitas Mulawarman dengan menggunakan 3 (tiga) perlakuan didefinisikan masing-masing sebagai TAC-250, TAC-350 dan TAC-750 dengan suhu karbonasi yang berbeda-beda yaitu 250, 350 dan 750°C. Sedangkan uji kadar H<sub>2</sub>S menggunakan metode metilen biru dengan spektrofotometer yang mengacu pada SNI 19-7117.7-2005. Konsentrasi H<sub>2</sub>S diukur pada waktu 10, 20 dan 30 menit untuk mendapatkan hasil adsorpsi dari batang pisang. Karbon aktif batang pisang yang dapat digunakan untuk mengetahui daya adsorpsi karbon aktif batang pisang terhadap penyerapan H<sub>2</sub>S. Untuk karakterisasi karbon aktif sebagai adsorben digunakan karakterisasi FTIR (Fourier Transform Spectroscopy Infrared). Sedangkan untuk analisis H<sub>2</sub>S dilakukan dengan menggunakan Spektrofotometer (UV-VIS).

## METODE

Penelitian meliputi beberapa tahapan, yaitu preparasi adsorben, pembuatan gas H<sub>2</sub>S, penentuan modifikasi adsorben, batang pisang yang telah dikeringkan digunakan sebagai bahan baku utama pembuatan adsorben. Perlakuan modifikasi adsorben dengan menggunakan modifikasi basa.

Adapun langkah-langkah yang dilakukan dalam penelitian ini yaitu pertama penentuan Sampel. Kedua uji determinasi. Ketiga karbonasi dan aktivasi kimia adalah Batang pisang yang digunakan dalam penelitian ini dibersihkan dan dicuci kemudian dikeringkan dalam oven pada suhu 110°C selama 12 jam. Batang pisang digiling menjadi bubuk, kemudian direndam dalam larutan HCl 2M.

Untuk menghilangkan kotoran dan dikeringkan dalam oven pada suhu 110°C selama 12 jam, Sekitar 18 gram batang pisang yang sudah disiapkan ditempatkan di reaktor stainless steel (diameter dalam 36 mm × panjang 90mm), dan kemudian ditempatkan di tengah tabung tungku kemudian sampel yang disiapkan dikarbonisasi masing-masing 2 gram pada 250, 350 dan 750°C selama 30 menit.

Sebanyak 30 g biochar direndam dalam 50 ml larutan KOH 7M, dilanjutkan dengan pemanasan dan pengadukan selama 2 jam. Biochar yang telah diresapi KOH disaring lalu dikeringkan dalam oven pada suhu 110°C selama 2 hari. Kemudian, biochar yang diresapi KOH diaktifkan pada 750 selama 2 jam (Muhammad et al, 2015). Setelah didinginkan hingga suhu kamar, sampel dicuci dan dinetralkan dengan air suling sebelum dikeringkan dalam oven pada suhu 110°C selama 2 hari.

Sampel yang sudah kering digiling dan diayak hingga berukuran sekitar 70 mesh. Bubuk karbon aktif batang pisang yang disiapkan di suhu karbonisasi yang berbeda-beda dari 250, 350 dan 750°C didefinisikan masing-masing sebagai TAC-250, TAC-350 dan TAC-750 (Mohammed et al, 2015). Keempat pembuatan Gas H<sub>2</sub>S yaitu Hidrogen sulfida yang digunakan dalam penelitian ini merupakan hasil pencampuran antara besi sulfida (FeS<sub>2</sub>) dan asam klorida (HCl) pekat dengan menggunakan tabung reaksi dan gas yang terbentuk masuk melalui aliran Erlenmeyer yang telah berisikan 50 ml larutan penyerap (ZnSO<sub>4</sub>) dan dilakukan pengujian kadar H<sub>2</sub>S. Uji kadar H<sub>2</sub>S menggunakan metode metilen biru dengan spektrofotometer mengacu pada SNI 19-7117.7-2005. Kemudian konsentrasi H<sub>2</sub>S diukur pada 10, 20 dan 30 menit dan kemudian hasil adsorpsinya dievaluasi.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Pembuatan Adsorben Karbon Aktif Dari Limbah Batang Pisang

Tanaman pisang merupakan salah satu hasil pertanian yang banyak ditemukan di seluruh Indonesia. Masyarakat Indonesia pada umumnya hanya mengkonsumsi buah dan menggunakan daun untuk keperluan rumah tangga. Batang pisang masih sangat jarang digunakan dan dianggap sebagai limbah. Dalam penelitian ini sampel batang pisang dipotong kecil-kecil dan dipindahkan kedalam wadah kemudian dikeringkan. Proses pengeringan sampel batang pisang yang telah dipotong kecil-kecil disajikan pada (Gambar 1). Setelah itu serbuk batang pisang yang telah dipotong kecil-kecil akan direndam menggunakan HCl 2M. Serbuk batang pisang sebelum dan sesudah dilakukan perendaman menggunakan HCl 2M disajikan pada Gambar 2 dan 3.



Gambar 1. Batang Pisang Sebagai Sumber Karbon Aktif



Gambar 2. Serbuk Batang Pisang Sebelum Perendaman Menggunakan HCl 2M



Gambar 3. Serbuk Batang Pisang Setelah Perendaman Menggunakan HCl 2M

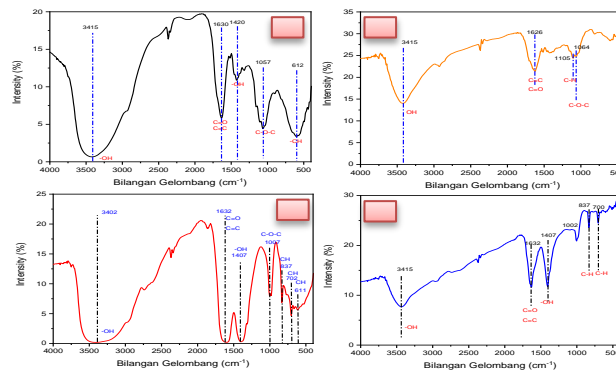
Pada penelitian ini limbah batang pisang dimanfaatkan sebagai bahan pembuatan karbon aktif untuk diaplikasikan sebagai adsorben gas H<sub>2</sub>S atau asam sulfida. Batang pisang terlebih dahulu dipotong kecil-kecil lalu kemudian dibersihkan dan dikeringkan. Batang pisang yang sudah dikeringkan tersebut kemudian dihaluskan dan kemudian diberi perlakuan perendaman menggunakan HCl 2M. Perendaman tersebut dimaksudkan untuk menghilangkan berbagai pengotor yang dapat mempengaruhi karbon aktif yang dihasilkan. Karbon aktif disintesis dengan menggunakan tiga temperatur aktivasi, yaitu 250 oC, 350 oC, dan 750oC. Untuk mengetahui karakter adsorben yang telah dihasilkan, dilakukan karakterisasi FTIR pada tiap karbon aktif.

#### **Karakterisasi Adsorben Karbon Aktif Dari Limbah Batang Pisang**

Karbon aktif dari limbah batang pisang telah berhasil disintesis. Batang pisang yang biasanya hanya dibuang, dalam penelitian ini dicoba untuk diolah menjadi karbon aktif untuk diaplikasikan sebagai adsorben gas H<sub>2</sub>S. Proses sintesis dilakukan menggunakan 3 variasi temperatur, yaitu 250 oC, 350 oC, dan 750oC. Untuk mengetahui pengaruh perbedaan temperatur tersebut, terhadap biokarbon batang pisang teraktivasi KOH (TAC), selanjutnya dilakukan karakterisasi FTIR.

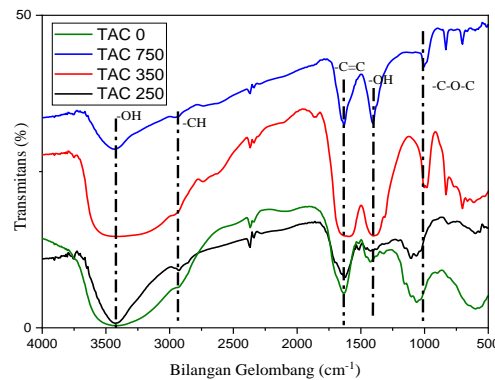
#### **Karakterisasi FTIR**

Hasil karakterisasi FTIR biochar dari batang pisang dan batang pisang sebagai raw material biochar ditunjukkan dalam (Gambar 4 dan 5). Karakterisasi dilakukan dengan spektrofotometer inframerah Shimadzu FT-IR 8201PC dari 300 hingga 4000 cm<sup>-1</sup> dengan menggunakan sampel yang dicampur dengan kalium bromida (KBr). Gambar 4.4a, merupakan spectra FTIR batang pisang yang belum diolah menjadi biochar (TAC 0). Hasil karakterisasi FTIR menunjukkan serapan pada area bilangan gelombang 3415 cm<sup>-1</sup>; 1630 cm<sup>-1</sup>; 1420 cm<sup>-1</sup>; 1057 cm<sup>-1</sup>; dan 612 cm<sup>-1</sup>, yang merupakan serapan untuk gugus fungsi secara berturut-turut adalah -OH, C=C, -OH, C-O-C, dan -CH (Liu et al., 2019; Qu et al., 2021).



Gambar 4. Spektra FTIR karbon aktif (a) FTIR TAC 0; (b) TAC 250; (c) TAC 350; (d) TAC 750

Gambar 4. menunjukkan perbandingan spektra FTIR dari batang pisang TAC 250, TAC 350, dan TAC 750 oC. Gambar di atas merupakan hasil analisis FTIR karbon aktif TAC 0oC, 250oC, 350oC dan 750oC dari batang pisang, untuk mengetahui gugus fungsi yang terkandung dalam masing-masing karbon aktif berdasarkan puncak serapan. Dimana gugus fungsi yang dihasilkan digunakan sebagai penciri dari karbon aktif tersebut.



Gambar 5. Perbandingan Spektra FTIR TAC 0, 250 °C, 350 °C dan 750 °C

Pada TAC 0oC, 250oC, 350oC, dan 750oC berturut-turut ditemukan serapan pada bilangan gelombang 3417.86 cm<sup>-1</sup>, 3425.58 cm<sup>-1</sup>, 3410.15 cm<sup>-1</sup>, 3433.29, cm<sup>-1</sup> yang menunjukkan adanya ikatan bebas dan ikatan antar molekul dari gugus -OH (hidroksi) yang dapat berasal dari selulosa ataupun molekul air yang masih terperangkap dalam kerangka TAC. Ikatan C-H alifatik diidentifikasi pada bilangan gelombang 2924.09 cm<sup>-1</sup> pada TAC 250 oC, pada bilangan gelombang 2962.66 cm<sup>-1</sup> pada TAC 750 oC. Sedangkan ikatan karbon rangkap dua C=C pada masing-masing TAC berturut-turut 1635.64 cm<sup>-1</sup>, 1620.21 cm<sup>-1</sup>, 1589.34 cm<sup>-1</sup> dan 1627.92 cm<sup>-1</sup> yang mengindikasikan telah terbentuknya grafit (Al-swaidan & Ahmad, 2011).

Serapan gugus C-H bending baru terlihat pada bilangan gelombang 810.10 cm<sup>-1</sup> pada TAC 250 oC, 702.09 cm<sup>-1</sup> pada TAC 350 oC dan 750 oC hal ini mengindikasikan terjadinya penurunan gugus C-H setelah proses aktivasi dan berpengaruh terhadap kandungan H<sub>2</sub>O dalam sampel yang masih banyak. Dengan semakin berkurangnya kadar H<sub>2</sub>O dalam sampel, maka intensitas gugus fungsi C-H akan semakin meningkat (Cuhadaroglu & Uygun, 2008). Serapan gugus C=O pada masing-masing TAC berturut-turut 2337.72 cm<sup>-1</sup>, 2368.59 cm<sup>-1</sup>, 2337.72 cm<sup>-1</sup>, 2368.59 cm<sup>-1</sup>.

Berdasarkan Gambar 4, terlihat bahwa dengan perlakuan suhu yang semakin meningkat menyebabkan perbedaan intensitas serapan 3415 cm<sup>-1</sup> untuk tiap karbon aktif. Intensitas serapan 3415, semakin menurun seiring dengan meningkatnya temperatur dari 250 oC, 350 oC, sampai 750 oC. Hal ini mengindikasikan bahwa perlakuan pemanasan menyebabkan kandungan air ataupun selulosa menjadi berkurang. Dengan berkurangnya kandungan selulosa ataupun air diharapkan dapat memberikan efek peningkatan kemampuan adsorpsi TAC. Interaksi batang pisang dengan KOH tampak optimal pada TAC 350 oC dan 750 oC yang ditandai dengan meningkatnya serapan -OH pada area bilangan gelombang 1400 (Qu et al., 2021).

**SIMPULAN**

Berdasarkan hasil penelitian yang diperoleh, maka dapat disimpulkan beberapa hal yaitu limbah Batang pisang dapat dimanfaatkan sebagai sumber karbon aktif untuk adsorpsi gas H<sub>2</sub>S, suhu pirolisis 750°C dalam pembuatan karbon aktif dari limbah batang pisang mampu menyerap secara optimum H<sub>2</sub>S di lingkungan ruang terbatas. Penurunan konsentrasi H<sub>2</sub>S di lingkungan ruang terbatas dengan menggunakan adsorben limbah batang pisang sebesar 81,61% dalam waktu 30 menit.

**DAFTAR PUSTAKA**

- Al-Ghouti, M. A., Da'ana, D., Abu-Dieyeh, M., & Khraisheh, M. (2019). Adsorptive removal of mercury from water by adsorbents derived from date pits. *Scientific Reports*, 9(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-019-51594-y>.
- Al-swaidan, H. M., & Ahmad, A. (2011). Synthesis and Characterization of Activated Carbon from Saudi Arabian Dates Tree 's Fronds Wastes. *3rd International Conference on Chemical, Biological and Environmental Engineering*, 20(September 2011), 25–31.
- Aventaggiato, L., Colucci, A. P., Strisciullo, G., Favalli, F., & Gagliano-Candela, R. 2020. "Lethal Hidrogen Sulfida Poisoning in Open Space: An Atypical Case of Asphyxiation of Two Workers". *Forensic Science International*. 308. 2019. 110122.
- Chou, S., Ogden, J. M., Phol, H. R., Scinicariello, F., Ingerman, L., Barber, L., & Citra, M. 2016. "Toxicological Profile for Hidrogen Sulfida and Carbonyl Sulfida". Agency for Toxic Substances and Disease Registry Division of Toxicology and Human Health Sciences Environmental Toxicology Branch. Atlanta. Geogia. 2016.
- Choo, H. S., Lau, L. C., Mohamed, A. R., & Lee, K. T. (2013). Hidrogen sulfida adsorption by alkaline impregnated coconut shell activated carbon. *Journal of Engineering Science and Technology*, 8(6), 741–753.
- Cuhadaroglu, D., & Uygun, O. A. (2008). Production and characterization of activated carbon from a bituminous coal by chemical activation. *7(20)*, 3703–3710. <https://doi.org/10.5897/AJB08.588>.
- Day, R.A., dan underwood, A.L. 2002. Analisis Kimia Kuantitatif, Edisi ke enam, Jakarta, penerbit Erlangga.
- Deng, H., Li, Y. F., Tao, S. Q., Li, A. Y., Li, Q. Y., & Hu, L. N. (2022). Efficient adsorption capability of banana and cassava biochar for malachite green : Removal process and mechanism exploration. *27(3)*, 0–2.
- Hagemann, N., Bucheli, T. D., Spokas, K., Schmidt, H. P., Kägi, R., Böhler, M. A., 2018. "Review Activated Carbon, Biochar and Charcoal: Linkages and Synergies across Pyrogenic Carbon's ABCs". *Water*, 10, 2018. 182 ; doi 10.3390/w10020182.
- Hermanti, M., Mahmudah, H., Hasyim, U. H., Kurniaty, I., 2019. "Pemanfaatan Limbah Batang Pisang sebagai Bioadsorbent dalam Pengolahan Minyak Mentah (CPO ) untuk Menurunkan Free Fatty Acid (FFA) dengan Variabel Massa Bioadsorbent". Seminar Nasional Sains dan Teknologi 2019. p - ISSN : 2407 – 1846 e - ISSN : 2460 – 8416.
- Hsu, D., Lu, C., Pang, T., Wang, Y., & Wang, G. (2019). applied sciences Adsorption of Ammonium Nitrogen from Aqueous Solution on Chemically Activated Biochar Prepared from Sorghum Distillers Grain.
- Kurniaty, I. : Hasyim, U.H. Yustiana, D. dan Muti, I. F. 2017 "Proses Delignifikasi Menggunakan Naoh Dan Amonia (Nh3) Pada Tempurung Kelapa". *Jurnal Integrasi Proses*. Vol 6 No 4. Desember 2017. pp. 197–201.
- Liu, L., Li, Y., & Fan, S. (2019). Preparation of KOH and H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> Modified Biochar and Its Application in Methylene Blue Removal from Aqueous Solution. *Processes*, 7(12), 891. <https://doi.org/10.3390/pr7120891>.
- Lohitesh, K., Behera, A. K., Alexander, A. A., & Suneetha, V. (2013). Detection and removal of hidrogen sulphide gas from food sewage water collected from vellore Detection and removal of hidrogen sulphide gas from food sewage water collected from Vellore. *Der Pharmacia Letter*, 5(3)(January), 163–169.
- Mohammed, J., Nasri, N. S., Muhammad Abbas Ahmad Zaini, M. A. A., Hamza, U. D., and Ani, F. N., 2015. "Adsorption of benzene and toluene onto KOH activated coconut shell-based carbon treated with NH<sub>3</sub>". *International Biodeterioration & Biodegradation XXX*, 2015. 1-11.
- Nurfitriani, N., Febriyantiningrum, K., Utomo, W.P., Nugraheni, Z.V., Pangastuti, D.D., Maulida, H., dan Ariyanti F.N., 2019. "Pengaruh Konsentrasi Aktivator Kalium Hidroksida (KOH) pada Karbon

- Aktif dan Waktu Kontak Terhadap Daya Adsorpsi Logam Pb dalam Sampel Air Kawasan Mangrove Wonorejo, Surabaya”. *Akta Kimia Indonesia. Akta Kimindo* Vol. 4(1). 2019. 75-85.
- OSHA. 2015. *Protecting Construction Workers in Confined Spaces : Small Entity Compliance Guide*. 1–57.
- Otowa, T., Tanibata, R., Itoh, M., 1993. “Production and adsorption characteristics of MAXSORB: High-surface-area active carbon”, *Gas Separation & Purification*. Vol 7. No 4. 1993. 241-245.
- Qu, J., Wang, Y., Tian, X., Jiang, Z., Deng, F., Tao, Y., Jiang, Q., Wang, L., & Zhang, Y. (2021). KOH-activated porous biochar with high specific surface area for adsorptive removal of chromium (VI) and naphthalene from water: Affecting factors, mechanisms and reusability exploration. *Journal of Hazardous Materials*, 401(June), 123292. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2020.123292>.
- Rohman, A. 2007. *Kimia Farmasi Analisis*. Yogyakarta: Pustaka Pelajar.
- Saparinto, C dan R. Susiana. 2016. *Grow Your Own Fruits – Panduan Praktis Menanam 28 Tanaman Buah Populer di Pekarangan*. Yogyakarta: Lily Publisher.
- Sawyer, C.N., McCarty, P.L., dan Parkin, G.F., 2003. *Chemistry for Environmental Engineering and Science*, 5th Edition, McGraw-Hill Higher Education. New York. 2003. ISBN 0-07-123045-9.
- Selman, J., Spickett, J., Jansz, J., & Mullins, B., 2019. “Confined space rescue: A proposed procedure to reduce the risks”. *Safety Science*. 113. 2019. 78–90.
- Sitorus, S., Vianus, O., 2014. “Pemanfaatan Biomassa Batang Pisang (*Musa paradisiaca*) yang Terimmobilkan pada Abu Batu Bara sebagai Pengadsorpsi Ion Logam Besi (Fe)”. *Jurnal Pendidikan Kimia*. Vol 3, No 3. 2014.
- Sugiharto., 2005. *Dasar-dasar Pengolahan Air Limbah*. UI-Press, Jakarta..
- Sugita, P., Sjahrizza, A., Wukirsari, T., dan Wahyono. D., 2009. *Kitosan Sumber Biomaterial Masa Depan*. Bogor. Tahun Terbit Elektronik 2019. IPB Press. E-ISBN 978-602-440-825-1
- Wang, S., Nam, H., Nam, H. 2020. “Preparation of Activated Carbon from Peanut Shell with KOH Activation and Its Application for H<sub>2</sub>S Adsorption in Confined Space” *Journal of Environmental Chemical Engineering*. 8. 2020. 103683.
- Weni Mandasari, W., Berlian Sitorus, B., Dian Rahayu Jati, D. R., 2014. “Pembuatan dan Karakterisasi Adsorben Gas H<sub>2</sub>S dari Zeolit Alam”. *JKK*, Volume 3 (2). 2014. halaman 56-63. ISSN 2303-1077.
- Widhiati, I. A. G., Suastuti, N., Nirmalasari, M., 2012. “Studi Kinetika Adsorpsi Larutan Ion Logam Kromium (Cr) Menggunakan Arang Batang Pisang (*Musa paradisiaca*)”. *Jurnal Kimia FMIPA Universitas Undayana*. 6 (1). 2012. 8-16.
- Yannasandy, D., Hasyim, U. H. and Fitriyano, G. 2017 “Pengaruh waktu delignifikasi terhadap pembentukan alfa selulosa dan identifikasi selulosa asetat hasil asetilasi dari limbah kulit pisang kapok”. November. 2017. pp. 1–2. doi: 10.13140/RG.2.2.17594.49601.