

Karakteristik Bioadsorben Limbah Ikan dengan Aktivator Kalsium Hidroksida ($\text{Ca}(\text{OH})_2$)

Characteristics of Bioadsorbents from Fish Waste with Calcium Hydroxide ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) Activators

Dodi Satriawan^{*1}, Melani Anggraeni², Geo Aghni Bintang Sukono³

¹Departemen Teknik Kimia, Universitas Jayabaya, Jl. Raya Jakarta-Bogor KM. 28, Cimanggis, Kota Jakarta Timur, 16452, Indonesia.

²Departemen Teknik Pengendalian Pencemaran Lingkungan, Politeknik Negeri Cilacap, Jl. Dr. Soetomo No.1, Sidakaya, Kabupaten Cilacap, Jawa Tengah, 53212, Indonesia.

³PT. Inti Surya Laboratorium, Jl. Raya Cisauk Lapan Blok O No. 5 - 6, Sampora, Cisauk, Kabupaten Tangerang, Banten, 15345, Indonesia.

*Email: dodi.ugm12@gmail.com

Article history:

Diterima : 16 Maret 2023
Direvisi : 23 Juli 2023
Disetujui : 15 Februari 2025
Mulai online : 27 Maret 2025

E-ISSN: 2337-4888

How to cite:

Dodi Satriawan, Melani Anggraeni, Geo Aghni Bintang Sukono. (2025). Karakteristik Bioadsorben Limbah Ikan dengan Aktivator Kalsium Hidroksida ($\text{Ca}(\text{OH})_2$). Jurnal Teknik Kimia USU, 14(1), 62-68.

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk analisis awal karakteristik bioadsorben limbah ikan yang akan digunakan untuk media penyerapan polutan. Limbah ikan didapatkan dari Tempat Pelelangan Ikan (TPI) di kabupaten Cilacap, Jawa Tengah. Limbah ikan yang didapatkan dikeringkan dengan proses penjemuran dengan sinar matahari selama 2 – 3 hari. Proses karbonisasi limbah ikan dilakukan dengan pirolisis pada suhu 550°C selama 4 jam hingga dihasilkan arang limbah ikan. Arang dihaluskan hingga ukuran 100 mesh. Arang kemudian ditimbang sebanyak 50 g dan diaktivasi dengan 1 L $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 5% pada suhu 70°C dengan pengadukan 350 rpm selama 2 jam; 4 jam; dan 6 jam. Analisis karakteristik mengacu pada SNI 06-3730-1995. Bioadsorben dari limbah ikan yang diaktivasi pada waktu aktivasi 6 jam memiliki karakteristik terbaik pada kadar air dan kadar abu sebesar masing-masing 2,75% dan 20,2%, sedangkan karakteristik terbaik pada kadar zat menguap dan daya serap iodine terdapat pada bioadsorben tanpa aktivasi sebesar masing-masing 44,33% dan 1.250,46 mg/g.

Kata kunci: bioadsorben, kadar abu, kadar zat menguap, kadar air, daya serap iodine

ABSTRACT

This research aims to conduct an initial analysis of the characteristics of bioadsorbent from fish waste which will be used as a pollutant adsorption. Fish waste was obtained from *Tempat Pelelangan Ikan* (TPI) in Cilacap district, Central Java. The fish waste obtained is dried by drying with solar thermal for 2 – 3 days. The carbonization process of fish waste is carried out by pyrolysis at a temperature of 550°C for 4 hours until fish waste charcoal is produced. Charcoal is ground to 100 mesh size. The charcoal was then weighed 50 g and activated with 1 L of 5% $\text{Ca}(\text{OH})_2$ at a temperature of 70°C with stirring at 350 rpm for 2 hours; 4 hours; and 6 hours. Analysis of characteristic bioadsorbent refers to SNI 06-3730-1995. Bioadsorbent from fish waste activated at an activation time of 6 hours has the best characteristics in terms of water content and ash content of 2,75% and 20,2% respectively, while the best characteristics in terms of volatile matter content and iodine absorption capacity are found in bioadsorbent without activation of 44,33% and 1.250,46 mg/g respectively.

Keyword: bioadsorbent, ash content, volatile matter content, moisture content, iodine absorption



This work is licensed under a Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International.
<https://doi.org/10.32734/jtk.v14i1.11543>

1. Pendahuluan

Adsorben yang berasal dari karbon aktif dapat berfungsi sebagai media penjerapan polutan didalam air maupun polutan yang terdapat didalam udara. Karbon merupakan suatu bahan yang berbentuk padatan yang memiliki pori-pori diseluruh permukaannya [1]. Pori-pori ini hingga >90% terdapat pada seluruh permukaan dari karbon [2,3]. Pori-pori ini yang berperan aktif didalam media penjerapan polutan yang terdapat didalam fluida. Karbon aktif memiliki banyak manfaat selain sebagai media penjerapan polutan pada fluida [4–7], karbon aktif juga berfungsi sebagai bahan baku obat-obatan [8], filtrasi [9–11] dan elektrokatalis [12]. Karbon aktif dapat dibuat dari berbagai bahan diantaranya dari bahan organik, bahan yang mengandung liknin, batubara, polimer sintesis dan limbah yang mengandung unsur karbon [13–15].

Menurut Mukherjee dkk., (2019) adsorben yang berasal dari karbon aktif mengandung perbedaan unsur karbon dengan adsorben jenis lainnya, unsur karbon ini ditentukan dari atom karbon yang berada pada sisi luar dan dalam dari permukaan karbon [16]. Jumlah dari atom karbon inilah yang mempengaruhi dari kualitas dari adsorben karbon aktif. Adsorben karbon aktif yang berasal dari makhluk hidup biasa disebut dengan bioadsorben. Karakteristik bioadsorben karbon aktif sangat mempengaruhi kualitas bioadsorben didalam menjerap polutan di dalam fluida. Hendrawan dkk (2017) [17] membuat bioadsorben karbon aktif dari biomassa limbah ampas tebu. Bioadsorben ini diaktivasi dengan menggunakan aktivator garam yaitu natrium klorida (NaCl) 5%. Karakteristik yang didapatkan memiliki kadar air sebesar 8,22%, kadar zat menguap sebesar 30,17%, kadar abu sebesar 49,95% dan kadar karbon yang terikat sebesar 19,89% [17].

Abdi dkk (2015) [4] membuat bioadsorben dari biomassa limbah kulit pisang kepok dengan aktivator asam yang berupa asam sulfat (H_2SO_4) 10% dan tanpa aktivasi. Karakteristik bioadsorben karbon aktif yang terbaik didapatkan pada bioadsorben karbon aktif tanpa aktivasi yaitu pada kadar air 6%, daya serap iodin 450,98 mg/g. Namun, untuk karakteristik berupa kadar abu memiliki nilai yang sama antara teraktivasi maupun tidak teraktivasi yaitu 85,33%. Hal ini dapat diketahui bahwa aktivator H_2SO_4 tidak dapat mengurangi nilai kadar abu dari bioadsorben karbon aktif [4]. Meilianti (2017) [5] membuat bioadsorben karbon aktif dari biomassa limbah cangkang buah karet. Bioadsorben karbon aktif ini diaktivasi dengan menggunakan aktivator asam yang berupa asam fosfat (H_3PO_4) dengan variasi konsentrasi 8%; 8,5%; 9%; dan 10%. Karakteristik bioadsorben karbon aktif yang terbaik didapatkan pada nilai kadar air sebesar 3,25%, volatile matter sebesar 3,15% dan daya serap iodin sebesar 947,24 mg/g pada konsentrasi aktivator H_3PO_4 10%; serta kadar abu sebesar 3,36% pada konsentrasi H_3PO_4 8% [5].

Handika dkk (2017) membuat bioadsorben karbon aktif dari biomassa limbah pelepah kelapa sawit yang diaktivasi dengan aktivator garam yaitu natrium karbonat (Na_2CO_3) 10% dan natrium klorida (NaCl) 10%. Karakteristik bioadsorben karbon aktif didapatkan bahwa bioadsorben karbon aktif pelepah kelapa sawit memiliki gugus fungsi O-H, C=O, C=C, C-C, dan C-H [18]. Nilai karakteristik bioadsorben yang telah disebutkan ini mengacu pada standar yang ditetapkan oleh pemerintah Indonesia. Standar kualitas mutu karakteristik karbon aktif mengacu pada Standar Nasional Indonesia SNI 06-3730-1995 tentang arang aktif teknis [19]. Arang aktif teknis merupakan arang aktif yang dilakukan proses pengaktifan sehingga memiliki daya jerap yang tinggi terhadap polutan didalam fluida [20]. Polutan ini dapat berupa senyawa kimia, bau, warna serta zat-zat beracun [21]. Syarat karakteristik karbon aktif yang berbentuk butiran ditetapkan oleh SNI 06-3730-1995 yang dapat dilihat pada tabel 1.

Tabel 1. Karakteristik Karbon Aktif Berdasarkan SNI 06-3730-1995 [19].

Karakteristik Karbon Aktif	Berukuran Serbuk
Kadar air	15%
Kadar abu	10%
Kadar zat menguap	25%
Daya serap iodin	750 mg/g
Karbon aktif murni	65%
Daya serap <i>metil blue</i>	120 ml/g
Kerapatan jenis	0,30 - 0,35 g/ml

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis karakteristik karbon aktif sebagai bioadsorben berbahan baku limbah ikan yang didapatkan dari Tempat Pelelangan Ikan (TPI) kabupaten Cilacap. Karbon limbah ikan yang didapatkan dari proses pirolisis diaktivasi dengan menggunakan aktivator $Ca(OH)_2$. Karakteristik yang

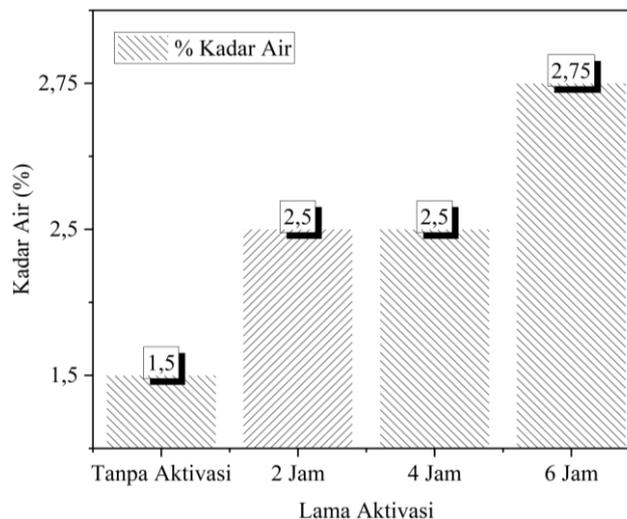
dianalisis dari bioadsorben limbah ikan berupa kadar air, kadar abu, kadar zat menguap, dan daya serap iodine yang mengacu pada SNI 06-3730-1995 [19].

2. Metode

Alat yang digunakan pada penelitian ini berupa beker gelas, labu ukur, pipet ukur, corong, neraca massa, desikator, cawan porselen, oven dan *furnace*. Bahan yang digunakan pada penelitian ini berupa limbah ikan, aquadest, kalsium hidroksida ($\text{Ca}(\text{OH})_2$), kertas saring, larutan iodine, larutan natrium tiosulfat, dan larutan kanji. Bahan limbah ikan sebagai bahan baku bioadsorben didapatkan dari Tempat Pelelangan Ikan (TPI) kabupaten Cilacap. Limbah ikan yang didapat berupa semua jenis limbah ikan yang didapatkan dari TPI kabupaten Cilacap tanpa melihat jenis dari limbah ikan tersebut. Limbah ikan tersebut kemudian di keringkan dibawah sinar matahari selama 2 – 3 hari hingga kadar air pada limbah ikan berkurang. Proses karbonisasi dilakukan dengan menggunakan pirolisis pada suhu $550\text{ }^\circ\text{C}$ selama 4 jam hingga didapatkan arang limbah ikan. Arang limbah ikan selanjutnya di haluskan hingga berukuran 100 mesh. Proses aktivasi arang limbah ikan sebanyak 100 gr menggunakan aktivator $\text{Ca}(\text{OH})_2$ sebanyak 1 L dengan konsentrasi 5%. Proses aktivasi berlangsung pada suhu $70\text{ }^\circ\text{C}$ dengan pengadukan 350 rpm selama 2 jam; 4 jam dan 6 jam. Karbon limbah ikan yang telah diaktivasi selanjutnya di netralkan dengan menggunakan *aquadest* panas ($70\text{ }^\circ\text{C} - 90\text{ }^\circ\text{C}$) hingga pH netral (6,5 – 7,5). Bioadsorben selanjutnya di keringkan dengan menggunakan oven pada suhu $110\text{ }^\circ\text{C}$ selama 2 jam. Analisis dilakukan di laboratorium teknik kimia, program studi DIV Teknik Pengendalian Pencemaran Lingkungan, Politeknik Negeri Cilacap. Analisis bioadsorben mengacu pada SNI 06-3730-1995 yang berupa analisis kadar air, analisis kadar abu, analisis kadar zat menguap, dan analisis daya serap iodine.

3. Hasil

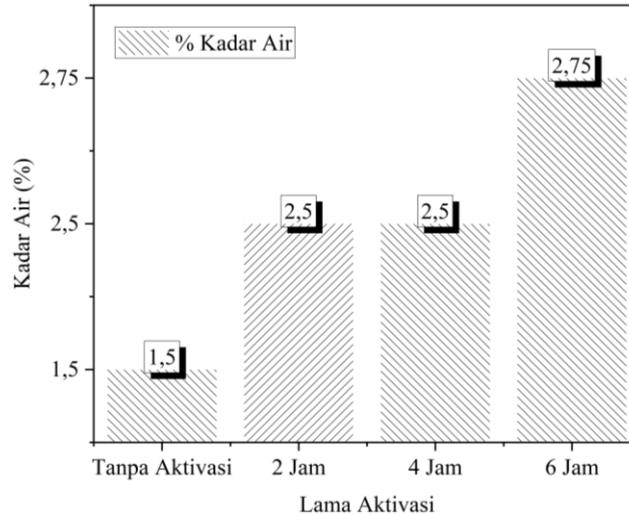
Proses pirolisis limbah ikan dengan menggunakan pirolisis didapatkan hasil berupa arang limbah ikan. Arang yang terbentuk kemudian dilakukan proses aktivasi dan proses pengeringan. Proses pengeringan ini bertujuan untuk mengurangi kadar air di dalam bioadsorben limbah ikan sehingga bioadsorben limbah ikan tidak mudah rusak akibat teroksidasi dengan udara lingkungan [22]. Proses selanjutnya berupa analisis kadar air bioadsorben limbah ikan. Analisis kadar air bioadsorben limbah ikan bertujuan untuk mengetahui sifat hidrokopis dari bioadsorben limbah ikan yang dibuat [23]. Sifat hidrokopis merupakan sifat suatu bahan didalam menyerap uap air di udara sekitar [7], sehingga sifat hidrokopis bioadsorben limbah ikan bertujuan untuk mengetahui kemampuan bioadsorben limbah ikan didalam menyerap polutan yang ada diudara [24]. Analisis kadar air bioadsorben limbah ikan dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Kadar air pada bioadsorben limbah ikan dengan aktivator $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 5%.

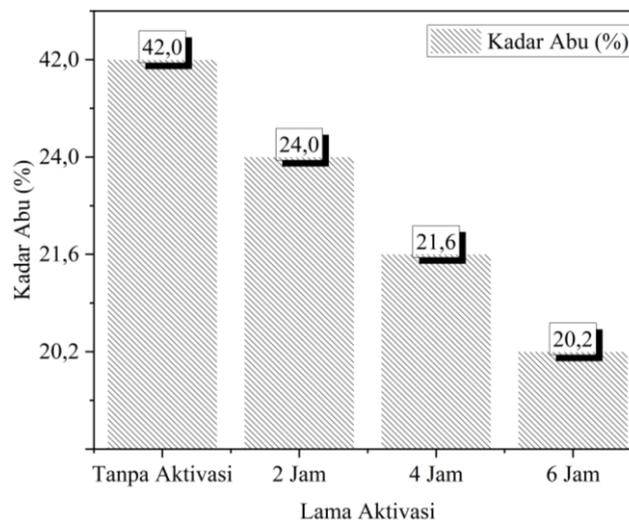
Gambar 1 memperlihatkan kadar air bioadsorben limbah ikan dengan aktivator $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 5% dengan variasi lama aktivator. Kadar air dengan aktivator $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 5% dapat meningkatkan kadar air dari bioadsorben. Berdasarkan SNI 06-3730-1995, kadar air maksimal dari karbon aktif sebesar 15 %. Kadar air bioadsorben limbah ikan dengan aktivator $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 5% telah memenuhi SNI 06-3730-95, 1995. Bioadsorben tanpa aktivasi memiliki nilai kadar air lebih kecil dibandingkan dengan aktivasi $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 5%. Hal ini dikarenakan aktivator $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 5% dapat memperbesar pori-pori dari bioadsorben limbah ikan sehingga dapat meningkatkan kemampuan bioadsorben didalam menyerap uap air di udara [11].

Kemampuan bioadsorben dalam menyerap uap air merupakan sifat hidrokopis [7]. Sifat ini mengidentifikasi kemampuan bioadsorben limbah ikan didalam menyerap polutan di udara [7]. Nilai kadar air terbaik terdapat pada bioadsorben limbah ikan dengan lama aktivasi 6 jam. Hal ini menunjukkan bahwa semakin lama proses aktivasi maka akan semakin lama aktivator $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 5% didalam melarutkan senyawa-senyawa yang dapat menutupi pori-pori bioadsorben limbah ikan. Namun pada lama aktivator 2 jam dan 4 jam, tidak terdapat perbedaan yang signifikan.



Gambar 2. Daya serap iodin pada bioadsorben limbah ikan dengan aktivator $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 5%.

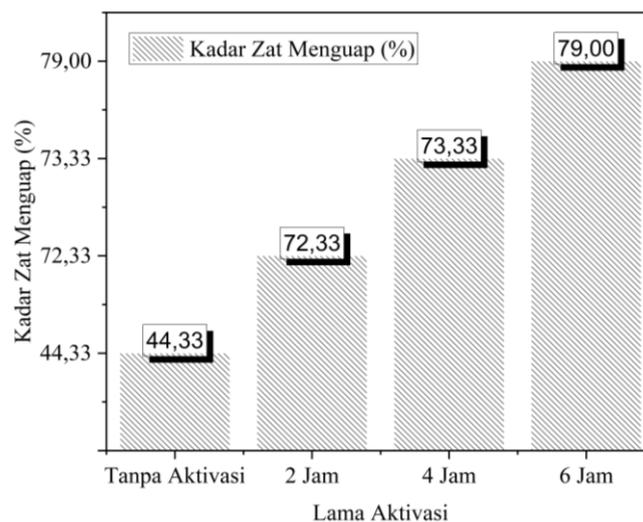
Gambar 2 memperlihatkan kemampuan karbon aktif didalam menyerap iodin. Penjerapan iodin yang diaplikasikan pada bioadsorben limbah ikan berfungsi untuk mengetahui kemampuan bioadsorben limbah ikan didalam menyerap polutan didalam air [25]. Berdasarkan SNI 06-3730-1995, kemampuan terbaik didalam menyerap bioadsorben yaitu minimal 750 mg/g. Bioadsorben limbah ikan tanpa aktivasi $\text{Ca}(\text{OH})_2$ dan dengan aktivasi $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 5% telah memenuhi kriteria SNI 06-3730-1995. Daya serap iodin terbaik terdapat pada bioadsorben tanpa aktivasi $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 5%. Aktivasi $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 5% dapat melarutkan senyawa-senyawa yang terdapat didalam bioadsorben limbah ikan ini. Senyawa-senyawa ini dapat berupa senyawa organik maupun senyawa logam [6]. Gambar 2 menunjukkan bahwa aktivator $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 5% dapat melarutkan senyawa organik (salah satunya unsur karbon) yang mengurangi efektifitas bioadsorben didalam menyerap iodin. Selain itu, lamanya aktivasi tidak mempengaruhi kemampuan bioadsorben limbah ikan didalam menyerap senyawa iodin. Hal ini ditunjukkan pada tidak adanya pengaruh daya serap iodin yang terjadi pada aktivasi 2 jam, 4 jam maupun 6 jam. Namun aktivasi dengan aktivator $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 5% dapat menurunkan kemampuan bioadsorben limbah ikan didalam menyerap senyawa iodin.



Gambar 3. Kadar abu pada bioadsorben limbah ikan dengan aktivasi $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 5%.

Gambar 3 menunjukkan kadar abu yang dimiliki bioadsorben limbah ikan diaktivasi dengan $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 5%. Bioadsorben limbah ikan yang diaktivasi dengan $\text{Ca}(\text{OH})_2$ memiliki nilai kadar abu yang lebih rendah dari pada bioadsorben tanpa aktivasi $\text{Ca}(\text{OH})_2$. Hal ini menunjukkan bahwa aktivasi $\text{Ca}(\text{OH})_2$ dapat melarutkan oksida logam didalam bioadsorben limbah ikan. Kadar abu pada bioadsorben menunjukkan bahwa berapa besar oksida logam yang terdapat pada bioabsorban limbah ikan. Oksida logam ini dapat mempengaruhi bioadsorben dalam menjerap polutan yang terdapat di dalam air maupun polutan di udara [5]. Kadar abu pada karbon aktif yang memenuhi syarat SNI 06-3730-1995 memiliki besar maksimal 10%. Hal ini memiliki arti bahwa, karbon aktif yang baik memiliki kadar oksida logam maksimal 10%.

Bioadsorben limbah ikan dengan aktivasi $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 5% belum memenuhi syarat mutu karakteristik karakteristik yang ditetapkan oleh SNI 06-3730-1995. Bioadsorben limbah ikan dengan aktivasi $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 5% memiliki kadar abu berkisar 20 – 24%. Gambar 3 juga menunjukkan bahwa semakin lama proses aktivasi maka akan semakin banyak oksida logam yang larut didalam $\text{Ca}(\text{OH})_2$. Selain itu, aktivasi secara kimia menggunakan $\text{Ca}(\text{OH})_2$ dapat menurunkan kadar abu (oksida logam) yang terkandung didalam bioadsorben limbah ikan. Sehingga aktivasi kimia mampu menurunkan kadar abu (oksida logam) didalam bioadsorben. Lama waktu aktivasi juga mempengaruhi kadar abu (oksida logam) didalam bioadsorben. Semakin lama proses aktivasi maka semakin besar oksida logam yang dapat larut didalam aktivator.



Gambar 4. Kadar zat menguap bioadsorben limbah ikan dengan aktivasi $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 5%.

Gambar 4 menunjukkan kadar zat menguap yang terkandung didalam bioadsorben limbah ikan. Kadar zat menguap didalam bioadsorben menunjukkan seberapa banyak senyawa organik yang mudah menguap dan memiliki ikatan pada bioadsorben limbah ikan [18]. Berdasarkan syarat mutu karakteristik karbon aktif yang ditetapkan pada SNI 06-3730-1995, karbon aktif yang baik memiliki kadar zat menguap maksimal 25%. Hal ini menunjukkan bahwa senyawa organik yang mudah menguap pada karbon aktif maksimal 25%. Gambar 4 menunjukkan bahwa bioadsorben limbah ikan belum memenuhi syarat mutu karakteristik karbon aktif yang ditetapkan oleh SNI 06-3730-1995. Bioadsorben limbah ikan tanpa aktivasi $\text{Ca}(\text{OH})_2$ memiliki kadar zat menguap lebih rendah dibandingkan dengan bioadsorben limbah ikan yang diaktivasi dengan $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 5%. Bioadsorben limbah ikan yang diaktivasi dengan $\text{Ca}(\text{OH})_2$ memiliki kadar zat menguap lebih tinggi hingga 79%.

Data ini berhubungan dengan data kadar abu bioadsorben limbah ikan, yang mana dengan adanya aktivasi akan menurunkan senyawa oksida logam yang terdapat didalam dalam bioadsorben dan meningkatkan kadar senyawa organik yang mudah menguap. Oksida logam ini yang mengikat senyawa organik yang mudah menguap sehingga apabila senyawa oksida logam pada bioadsorben limbah ikan berkurang maka akan meningkatkan kadar zat menguap pada bioadsorben pada limbah ikan [6]. Hal ini juga didukung oleh data bioadsorben limbah ikan tanpa aktivasi $\text{Ca}(\text{OH})_2$. Kadar abu (oksida logam) pada bioadsorben limbah ikan memiliki nilai yang lebih tinggi dibandingkan dengan bioadsorben limbah ikan dengan aktivasi $\text{Ca}(\text{OH})_2$. Oksida logam yang masih berikatan dengan bioadsorben limbah ikan tanpa aktivasi $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ini yang mengikat senyawa organik yang mudah menguap sehingga kadar zat menguap pada bioadsorben limbah ikan tanpa aktivasi $\text{Ca}(\text{OH})_2$ lebih rendah dibandingkan dengan bioadsorben dengan aktivasi $\text{Ca}(\text{OH})_2$.

Gambar 4 juga menunjukkan bahwa semakin lama proses aktivasi maka semakin tinggi kadar zat menguap. Kadar zat menguap pada waktu 6 jam akan meningkat hingga 79% dibandingkan dengan lama

aktivasi 2 jam yang memiliki kadar zat menguap 72,33%. Adanya peningkatan pada kadar zat menguap ini berefek pada menurunnya daya serap iodin. Pada gambar 2 menunjukkan bahwa daya serap iodin akan menurun seiring dengan bertambahnya lama aktivasi $\text{Ca}(\text{OH})_2$. Hal ini dipengaruhi oleh senyawa organik yang terkandung didalam bioadsorben limbah ikan banyak yang telah menguap sehingga kemampuan bioadsorben limbah ikan didalam menjerap senyawa iodin menjadi menurun dengan meningkatnya kadar zat menguap pada bioadsorben limbah ikan.

4. Kesimpulan

Kesimpulan dari penelitian ini berupa karakteristik bioadsorben limbah ikan dengan aktivator $\text{Ca}(\text{OH})_2$ telah memenuhi standar SNI 06-3730-1995 untuk kadar air dan daya serap iodin. Namun untuk kadar zat menguap dan kadar abu, bioadsorben limbah ikan dengan aktivasi $\text{Ca}(\text{OH})_2$ belum memenuhi standar SNI 06-3730-1995. Aktivasi kimia dengan $\text{Ca}(\text{OH})_2$ mampu melarutkan oksida logam didalam yang terkandung didalam bioadsorben limbah ikan akan tetapi dengan adanya aktivasi kimia dengan $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ini akan meningkatkan kadar zat menguap (zat organik yang mudah menguap meningkat) dan menurunkan daya serap iodin. Bioadsorben yang terbaik pada daya serap iodin terdapat pada bioadsorben tanpa aktivasi kimia yaitu 1.250.4575 mg/gr. Bioadsorben yang terbaik pada kadar abu pada bioadsorben dengan lama aktivasi 6 jam yaitu 20,2% dan bioadsorben yang terbaik pada kadar zat menguap yaitu bioadsorben tanpa aktifasi yaitu 44,33%

5. Ucapan Terima Kasih

Penulis ucapkan terimakasih kepada Direktorat Pembelajaran dan Kemahasiswaan, Direktorat Jendral Vokasi, Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan yang telah memberikan bantuan dana hibah didalam pelaksanaan penelitian ini melalui Program Kreativitas Mahasiswa (PKM) bidang Riset.

6. Konflik Kepentingan

Semua penulis tidak memiliki konflik kepentingan (*conflict of interest*) pada publikasi artikel ini.

Daftar Pustaka

- [1] Y. Suprianti dan A. S. Kurniasetyawati, “Regenerasi in-situ adsorben karbon aktif tipe granul dengan metode termal,” *J. Tek. Kim. dan Lingkungan*, vol. 3, no. 1, hal. 1, 2019, doi: 10.33795/jtkl.v3i1.91.
- [2] E. Erawati dan A. Fernando, “Pengaruh jenis aktivator dan ukuran karbon aktif terhadap pembuatan adsorbent dari serbuk gergaji kayu sengon (*Paraserianthes Falcataria*),” *J. Integr. Proses*, vol. 7, no. 2, hal. 58–66, 2018, doi: 10.36055/jip.v7i2.3808.
- [3] K. Nisah, R. S. Nasution, dan Y. Muddassir, “Perbandingan adsorben daun nipah (*Nypa fruticans*) dan serabut buah nipah terhadap zat warna methylene blue,” *AMINA*, vol. 3, no. 1, hal. 1–7, 2021.
- [4] C. Abdi, R. M. Khair, dan M. W. Saputra, “Pemanfaatan limbah kulit pisang kepok (*Musa acuminata* L.) sebagai karbon aktif untuk pengolahan air sumur Kota Banjarbaru :Fe dan Mn,” *Jukung (Jurnal Tek. Lingkungan)*, vol. 1, no. 1, hal. 8–15, 2015, doi: 10.20527/jukung.v1i1.1045.
- [5] M. Meilianti, “Karakteristik karbon aktif dari cangkang buah karet menggunakan aktivator H_3PO_4 ,” *J. Distilasi*, vol. 2, no. 2, hal. 1–9, 2017, doi: 10.32502/jd.v2i2.1146.
- [6] A. W. Y. Putra Parmita, A. D. Laksono, M. I. Zulkarnain, A. F. B. Hartanti, dan R. V. Mudhawammah, “Karakteristik buah nipah karbon aktif dari serabut nipah teraktivasi potassium hydroxide (KOH),” *SPECTA J. Technol.*, vol. 4, no. 3, hal. 72–79, 2020, doi: 10.35718/specta.v4i3.232.
- [7] D. Satriawan, A. Santoso, dan B. Widianingsih, “Analisis kuantitatif pengaruh waktu karbonisasi dan konsentrasi KOH pada pembuatan karbon aktif sekam padi,” *Seminar Masional Terapan Riset Inovatif (SENTRINOVE)*, 2021, vol. 7, no. 2, hal. 605–612.
- [8] A. Husin dan A. Hasibuan, “Studi pengaruh variasi konsentrasi asam posfat (H_3PO_4) dan waktu perendaman karbon terhadap karakteristik karbon aktif dari kulit durian,” *J. Tek. Kim. USU*, vol. 9, no. 2, hal. 80–86, 2020, doi: 10.32734/jtk.v9i2.3728.
- [9] S. J. Safariyanti, W. Rahmalia, dan Shofiyani, A., “Sintesis dan karakteristik karbon aktif dari tempurung buah nipah (*Nypa fruticans*) menggunakan aktivator asam klorida,” *J. Kim. Khatulistiwa*, vol. 7, no. 2, hal. 41–46, 2018.
- [10] A. W. Y. P. Parmita, A. D. Laksono, M. I. Zulkarnain, A. F. B. Hartanti, dan R. V. Mudhawammah, “Karakteristik buah nipah karbon aktif dari serabut nipah teraktivasi potassium hydroxide (KOH),” *SPECTA J. Technol.*, vol. 4, no. 2, hal. 35–44, 2020.
- [11] A. N. Ikhsan, Y. Azmiati, U. Delvianti, dan I. Syauqiah, “Karakteristik biosorben pelepah nipah (*Nypa Fruticans*) untuk penurunan kadar logam berat air merkuri (Hg),” *Jukung (Jurnal Tek. Lingkungan)*, vol.

- 7, no. 1, hal. 46–55, 2021, doi: 10.20527/jukung.v7i1.10814.
- [12] A. N. I. Lestari dan R. Farma, “Fabrikasi dan karakterisasi elektroda karbon dari biomassa serabut buah nipah dengan variasi konsentrasi aktivator KOH,” in *Prosiding Seminar Nasional Fisika Universitas Riau V (SNFUR-5)*, 2020, hal. 127–133. [Daring]. Tersedia pada: <https://kfi.ejournal.unri.ac.id/index.php/JKFI/article/view/7896>
- [13] M. R. Wahyudi, R. Dwityaningsih, dan D. Satriawan, “Aktivasi batu lava melalui proses gabungan aktivasi fisika dan aktivasi kimia dengan aktivator NaOH untuk adsorpsi H₂S,” *Seminar Nasional Fakultas Teknik Universitas Malikussaleh*, 2022, hal. 1017–1025.
- [14] K. Sa’diyah dan C. E. Lusiani, “Kualitas karbon aktif kulit pisang kepok menggunakan aktivator kimia dengan variasi konsentrasi dan waktu aktivasi,” *J. Tek. Kim. dan Lingkungan*, vol. 6, no. 1, hal. 9, 2022, doi: 10.33795/jtkl.v6i1.259.
- [15] M. I. Pangesti, R. Dwityaningsih, dan D. Satriawan, “Efektivitas karbon aktif dari sekam padi dengan aktivator H₃PO₄ sebagai media filter penjerapan CO₂ dari biogas,” *Seminar Nasional Inovasi dan Pengembangan Teknologi Terapan (SENOVTEK)*, 2022, hal. 100–107.
- [16] A. Mukherjee, J. A. Okolie, A. Abdelrasoul, C. Niu, dan A. K. Dalai, “Review of post-combustion carbon dioxide capture technologies using activated carbon,” *J. Environ. Sci.*, vol. 83, hal. 46–63, 2019, doi: 10.1016/j.jes.2019.03.014.
- [17] Y. Hendrawan, S. M. Sutan, dan R. Y. R. Kreative, “Pengaruh Variasi suhu karbonisasi dan konsentrasi aktivator terhadap karakteristik karbon aktif dari ampas tebu (*Bagasse*) menggunakan activating agent NaCl,” *J. Keteknikan Pertan. Trop. dan Biosist.*, vol. 5, no. 3, hal. 200–207, 2017, [Daring]. Tersedia pada: <https://jkptb.ub.ac.id/index.php/jkptb/article/view/420>
- [18] Gewa Handika, Seri Maulina, dan Vidyanova Anggun Mentari, “Karakteristik karbon aktif dari pemanfaatan limbah tanaman kelapa sawit dengan penambahan aktivator natrium karbonat (Na₂CO₃) dan natrium klorida (NaCl),” *J. Tek. Kim. USU*, vol. 6, no. 4, hal. 41–44, 2017, doi: 10.32734/jtk.v6i4.1597.
- [19] SNI 06-3730-95, “Arang Aktif Teknis,” 1995.
- [20] Y. Kurniati, E. L. Septiani, O. P. Prastuti, V. Purnomo, S. S. N. Dewi, dan I. Mahmuddin, “Pengaruh waktu terhadap temperatur aktivasi dari kulit pisang (*Musa paradisiaca L.*) dalam pembuatan katalis,” *J. Tek. Kim. dan Lingkungan*, vol. 4, no. 1, hal. 33, 2020, doi: 10.33795/jtkl.v4i1.134.
- [21] Y. Kurniati, O. P. Prastuti, dan E. L. Septiani, “Studi kinetika adsorpsi metil biru menggunakan karbon aktif limbah kulit pisang,” *J. Tek. Kim. dan Lingkungan*, vol. 3, no. 1, hal. 34, 2019, doi: 10.33795/jtkl.v3i1.87.
- [22] N. D. Siswati, N. Martini, dan W. Widyantini, “Pembuatan arang aktif dari tulang ikan tuna,” *J. Tek. Kim.*, vol. 10, no. 1, hal. 26–29, 2015.
- [23] A. Rahman, R. Aziz, A. Indrawati, dan M. Usman, “Pemanfaatan beberapa jenis arang aktif sebagai bahan adsorben logam berat cadmiun (Cd) pada tanah sedimen drainase Kota Medan sebagai media tanam,” *J. Agroteknologi dan Ilmu Pertan.*, vol. 1, no. 1, hal. 42–54, 2020.
- [24] Z. Abidin, R. Kalla, dan S. Yani, “Zeolit dan silika sekam padi sebagai adsorben untuk ion logam pada limbah cair industri smelter nikel,” *ILTEK J. Teknol.*, vol. 15, no. 2, hal. 73–77, 2020, doi: 10.47398/iltek.v15i2.522.
- [25] Suherman, M. Hasanah, R. Ariandi, dan Ilmi, “Pengaruh suhu aktivasi terhadap karakteristik dan mikrostruktur karbon aktif pelepah kelapa sawit (*Elaeis guinensis*),” *J. Ind. Has. Perkeb.*, vol. 16, no. 1, hal. 1–9, 2021.