

# Optimasi Suhu Pembuatan Arang Aktif Dari Ampas Kopi Terhadap Penurunan Kadar COD Dan BOD Pada Air Limbah Tahu

Irman Ansari Adlin<sup>1</sup>, Rrahmasari ismet<sup>2</sup>, Syara Amalia<sup>3</sup>, Amanda Putri<sup>4</sup>, Jufrinaldi<sup>5\*</sup>

<sup>1,2,3,4,5</sup>Prodi Teknik Kimia, Universitas Pamulang, Kota Tangerang Selatan

\*Koresponden email: [Jufrinaldikoto@gmail.com](mailto:Jufrinaldikoto@gmail.com)

## ABSTRACT

The tofu industry in Indonesia faces significant challenges in managing liquid waste, which typically contains high levels of Biochemical Oxygen Demand (BOD) and Chemical Oxygen Demand (COD), exceeding the government-set maximum limits. This study aims to explore the optimization of activated carbon-making temperature from coffee grounds and evaluate its ability to reduce COD and BOD levels in tofu industry wastewater. The methods used in this study include the preparation and characterization of activated carbon produced from coffee grounds with temperature variations from 150°C to 550°C. The results showed that the optimal temperature for preparing active carbon was 450°C, resulting in an active carbon yield of 32.56%. At this temperature, the measured water content was 2.96%, ash content was 2.96%, and iodine absorption was 787.24 mg/g, all of which met the standards of SNI No. 06-3730-1995. Evaluation of the impact of using the resulting activated carbon on tofu industry wastewater revealed a decrease in COD levels from 373.25 mg/L to 122.86 mg/L, corresponding to a 67% decrease, as well as a decrease in BOD levels from 191.65 mg/L to 20.02 mg/L, equivalent to an 89% decrease. These findings suggest that activated carbon derived from coffee grounds can be an effective and sustainable alternative for wastewater treatment, providing a more environmentally friendly waste management solution.

Keywords— Activated carbon, coffee grounds, *tofu liquid waste*, COD, BOD

## I. PENDAHULUAN

Industri tahu merupakan salah satu sektor pangan yang berkembang pesat dan berkontribusi signifikan terhadap perekonomian nasional. Pertumbuhan tersebut harus diimbangi dengan tantangan besar dalam pengelolaan limbah, terutama limbah cair yang dihasilkan dari proses produksi tahu. Industri tahu di Indonesia menghasilkan limbah cair dengan Biochemical Oxygen Demand (BOD) 5.000-10.000 mg/L dan Chemical Oxygen Demand (COD) 7.000-12.000 mg/L, secara signifikan melebihi ambang batas pemerintah 150 mg/L untuk BOD dan 300 mg/L untuk COD. Konsentrasi tinggi ini menimbulkan risiko pencemaran lingkungan jika tidak dikelola dengan baik [1]. Limbah cair ini mengandung senyawa organik tinggi memiliki dampak lingkungan, terutama dalam hal polusi air dan kerusakan ekosistem.

Berbagai metode pengolahan telah dieksplorasi untuk mengurangi dampak ini. Metode Anaerob Sequencing Batch Reactor (ASBR) berhasil mengurangi COD hingga 60% dan BOD 35,65%, sambil menghasilkan biogas [2]. Metode Anaerob Baffled Reactor (ABR) yang diperkaya dengan kotoran sapi dan *Lactobacillus casei* mampu mencapai penghilangan COD 81,63% dalam proses batch dan 78,12% dalam proses berkelanjutan, serta membantu produksi metana untuk energi [3]. Kombinasi metode karbon aktif dan Proses Oksidasi Lanjutan (AOP) berhasil menurunkan BOD sebesar 64% [1]. Metode bioremediasi menggunakan *Bacillus subtilis* menghasilkan pengurangan COD sebesar 17%, sedangkan Mikroorganisme Efektif-4 (EM4) mencapai reduksi COD 74,68% dan BOD 87,14% [4], [5]. Metode elektrokoagulasi menunjukkan pengurangan COD 72,17% dan BOD 71,53%, serta peningkatan keseimbangan pH air limbah [6]. Penggunaan metode enzim ramah lingkungan juga memberikan hasil signifikan dalam menurunkan COD, TSS, dan pH, menawarkan alternatif perawatan yang lebih berkelanjutan [7].

Salah satu pengolahan yang berpotensi adalah penggunaan arang aktif sebagai adsorben. Arang aktif, menghadirkan

alternatif yang menjanjikan untuk pengolahan air karena kapasitas adsorpsi yang tinggi. Proses aktivasi, yang melibatkan pengekspos material ke suhu tinggi dan gas pengoksidasi, menciptakan jaringan pori-pori halus yang secara signifikan meningkatkan luas permukaan dan sifat adsorptif [8]. Hal ini membuat arang aktif sangat efektif dalam menjebak kontaminan seperti ion besi dan logam merkuri. arang aktif dapat disintesis dari limbah ampas kopi. Pemanfaatan ampas kopi sebagai bahan baku arang aktif tidak hanya menawarkan solusi pengelolaan limbah yang berkelanjutan tetapi juga menyediakan metode hemat biaya untuk memproduksi adsorben berkinerja tinggi [9].

Berdasarkan pemaparan diatas, pemanfaatan limbah ampas kopi untuk produksi arang aktif tidak hanya menjawab tantangan pengelolaan limbah cair dari industri tahu, tetapi juga merespons kebutuhan akan solusi yang lebih ramah lingkungan. Studi ini bertujuan untuk mengeksplorasi optimalisasi suhu pembuatan arang aktif dari ampas kopi dan mengevaluasi dampaknya terhadap penurunan kadar COD dan BOD dalam limbah cair industri tahu.

## II. METODELOGI PENELITIAN

### 2.1 Bahan

Bahan yang digunakan sebagai sampel adalah ampas kopi dari industri kopi dari Bogor dan limbah cair tahu dari industri tahu di Pamulang. Ampas kopi. Bahan lain yang digunakan adalah HCl 0,1 M, aquadest, larutan iodium 0,1 N, larutan natrium tiosulfat 0,1 N, larutan kanji, HgSO<sub>4</sub> analytical merkck, K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub> analytical merkck, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> analytical sigma aldrich, AgSO<sub>4</sub> analytical merkck, Indikator ferroin, ferro amonium sulfat 0,01 N, K<sub>2</sub>C<sub>2</sub>O<sub>4</sub> teknik merkck, MnSO<sub>4</sub> 10% merkck, larutan KIO<sub>3</sub>, larutan buffer fosfat pH 7, larutan FeCl<sub>3</sub>, larutan CaCl<sub>2</sub>, larutan alkali iodid.

### 2.2 Alat

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah Set gelas, desikator, oven Memmert UM400/FNRB406-41, indikator

universal, saringan 100 mesh, moisture Analyzer Kern-MLB 50-30N, konduktor refluks friedrich, neraca analitik Santorius AG SECURA 224-IS, Magnetik stirrer, aerator.

### 2.3 Prosedur penelitian

#### 2.3.1 Preparasi arang aktif dari ampas kopi

Preparasi arang aktif dari ampas kopi mengikuti metode ogata [10]. Ampas kopi dikeringkan di oven pada suhu 105 °C selama 3 jam untuk mengurangi kadar airnya. Selanjutnya, ampas kopi yang telah dikeringkan dimasukkan ke dalam muffle furnace dengan variasi suhu 150 °C, 250 °C, 350 °C, 450 °C, dan 550 °C, masing-masing selama 3 jam. Setelah proses pemanasan, ampas kopi diayak menggunakan saringan 100 mesh untuk mendapatkan ukuran partikel yang diinginkan. Selanjutnya, ampas kopi direndam dalam larutan pengaktif HCl 0,1 N selama 48 jam, lalu ditiriskan. Setelah itu, ampas kopi dicuci dengan aquadest hingga netral dan dioven lagi untuk mengurangi kandungan airnya. Terakhir, ampas kopi yang sudah diaktivasi disimpan dalam desikator untuk menjaga kestabilan dan kelembapan.

#### 2.3.2 Karakterisasi arang aktif

Karakterisasi arang aktif meliputi rendemen, kadar air, kadar abu, daya serap terhadap Iodium. Arang aktif yang didapatkan diaplikasikan terhadap limbah cair tahu dengan melihat karakteristik COD, BOD dan DO.

## III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Karakterisasi arang aktif dimaksudkan untuk mengetahui kondisi sebenarnya dari arang aktif sehingga diharapkan arang aktif dari ampas kopi mampu berfungsi dengan baik. Pada penelitian ini suhu divariasikan yaitu suhu 150 °C, 250 °C, 350 °C, 450 °C, dan suhu 550 °C tujuannya untuk melihat hasil karbon aktif yang paling baik dari perubahan terhadap faktor suhu. Karakterisasi arang aktif dapat diperlihatkan melalui beberapa pengujian mutu arang aktif meliputi penentuan rendemen, kadar air, kadar abu dan daya serap terhadap iodium. Besarnya nilai hasil analisis arang aktif ampas kopi meliputi rendemen, kadar air, kadar abu dan daya serap iod dengan berbagai variasi suhu dapat ditampilkan pada Tabel 1.

Rendemen arang aktif yang rendah dapat disebabkan oleh jumlah udara saat karbonisasi, ukuran bahan baku dan suhu akhir karbonisasi. Ukuran bahan yang terlalu kecil memungkinkan kehilangan arang dalam jumlah yang relatif banyak karena banyak dihasilkan abu, sedangkan ukuran bahan yang terlalu besar menyebabkan kurang meratanya pengarangan sehingga tidak semua bahan dapat terkarbonisasi secara sempurna. Suhu akhir karbonisasi mempengaruhi jumlah rendemen yang kecil karena dihasilkan dalam jumlah yang banyak. Rendemen arang aktif setelah karbonasi terbesar pada suhu 150°C yaitu sebesar 32,56%. Hal ini dapat disebabkan pada suhu 150°C belum banyak kandungan air dan zat organik yang teruapkan. Semakin tinggi suhu semakin banyak pula air dan zat organik yang menguap sehingga mengakibatkan berkurangnya rendemen arang aktif. Jumlah minimum maupun maksimum untuk rendemen setelah melalui proses karbonisasi tidak ditentukan dalam SNI.

Rendemen arang aktif yang rendah dapat disebabkan oleh jumlah udara saat karbonisasi, ukuran bahan baku dan suhu akhir

karbonisasi. Ukuran bahan yang terlalu kecil memungkinkan kehilangan arang dalam jumlah yang relatif banyak karena banyak dihasilkan abu, sedangkan ukuran bahan yang terlalu besar menyebabkan kurang meratanya pengarangan sehingga tidak semua bahan dapat terkarbonisasi secara sempurna. Suhu akhir karbonisasi mempengaruhi jumlah rendemen yang kecil karena dihasilkan dalam jumlah yang banyak. Rendemen arang aktif setelah karbonasi terbesar pada suhu 150 °C yaitu sebesar 32,56%. Hal ini dapat disebabkan pada suhu 150 °C belum banyak kandungan air dan zat organik yang teruapkan. Semakin tinggi suhu semakin banyak pula air dan zat organik yang menguap sehingga mengakibatkan berkurangnya rendemen arang aktif. Jumlah minimum maupun maksimum untuk rendemen setelah melalui proses karbonisasi tidak ditentukan dalam SNI.

Tabel 1. Hasil analisis arang aktif

Parameter	Standar mutu arang aktif*	Hasil analisis arang aktif				
		Suhu 150°C	Suhu 250°C	Suhu 350°C	Suhu 450°C	Suhu 550°C
Rendemen (%)	-	32,56±1,63	31,97±1,15	31,91±1,22	29,75±1,74	28,61±1,54
Kadar air (%)	Maks 15%	3,89±0,15	3,43±0,12	3,09±0,15	2,85±0,11	2,77±0,10
Kadar Abu (%)	Maks 10%	2,90±0,13	2,75±0,18	2,65±0,16	2,56±0,14	2,78±0,17
Daya Serap Iod (mg/g)	Min75 0 mg/g	501,97±2,58	593,20±2,58	750,75±1,30	787,24±1,29	760,20±2,57

\*Standar Mutu Arang Aktif SNI No.06-3730-1995

Dari Tabel 1 dapat dilihat bahwa rendemen arang aktif yang rendah dapat disebabkan oleh beberapa faktor, yaitu jumlah udara saat karbonisasi, ukuran bahan baku, dan suhu akhir karbonisasi. Ukuran bahan yang terlalu kecil memungkinkan kehilangan arang dalam jumlah yang relatif banyak, karena banyak dihasilkan abu. Sementara itu, ukuran bahan yang terlalu besar dapat menyebabkan kurang meratanya pengarangan, sehingga tidak semua bahan dapat terkarbonisasi dengan sempurna. Darmawan et al.,[11] melaporkan bahwa bahwa penggunaan tempurung kemiri dengan suhu karbonisasi 600 °C, 700 °C, dan 800 °C menghasilkan rendemen sebesar 80,50%, 73,25%, dan 50,50% dengan aktivator asam fosfat. Imawati dan Nawa [12] melaporkan aarang aktif terhadap ampas kopi pada suhu 600°C dengan aktivator HCl dan H3PO4 menghasilkan rendemen sebesar 19,33%. Penelitian lainnya oleh Irmanto dan Sutaya (2009) terhadap ampas kopi pada suhu 350°C dengan HCl menghasilkan rendemen sebesar 14,56%.

Penetapan kadar abu arang aktif bertujuan untuk mengukur kandungan mineral dalam karbon aktif. Karbon aktif terdiri dari lapisan-lapisan yang membentuk pori-pori. Pori-pori ini sering kali terisi oleh pengotor mineral anorganik dan oksida logam. Selama proses aktivasi dengan HCl, pengotor tersebut menguap, sehingga memperbesar pori-pori dan meningkatkan luas permukaan karbon aktif. Semakin luas permukaan ini, semakin baik kualitas karbon aktif yang dihasilkan. Kadar abu yang tinggi dapat menurunkan mutu arang aktif, karena menunjukkan meningkatnya kandungan bahan anorganik. Hasil penelitian menunjukkan kadar abu pada karbon aktif yang dihasilkan relatif rendah, yaitu 2,48%, 2,55%, 2,65%, 2,76%, dan 2,96%. Kadar abu dari karbon aktif yang dipanaskan pada suhu 150 °C, 250 °C, 350 °C, 450 °C, dan 550 °C memenuhi standar SNI No. 06-3730-1995, yang membatasi kadar abu maksimum sebesar 10%.

Penelitian sebelumnya juga melaporkan kurang dari 10 % seperti diperlihatkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Nilai kadar abu dari arang aktif

Bahan baku	Suhu	Aktivator	Kadar abu (%)	Referensi
Tempurung kemiri	600°C, 700°C, 800°C	H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	1,10 - 2,03	[11]
Ampas kopi	600°C	HCL, H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	3,68	[12]
Ampas kopi	350°C	HCL	1,37	[15]
Tempurung kelapa	500°C, 1000°C	-	0,22 - 0,84	[13]

Uji daya serap iod merupakan parameter untuk mengetahui kemampuan arang aktif dalam menyerap molekul-molekul dengan berat molekul kecil dan zat dalam fasa cair. Penambahan larutan iod berfungsi sebagai adsorbat yang akan diserap oleh karbon aktif sebagai adsorbennya. Terserapnya larutan iod ditunjukkan dengan adanya pengurangan konsentrasi larutan iod. Pengukuran konsentrasi iod sisa dapat dilakukan dengan menitrasi larutan iod dengan natrium thiosulfat 0,1 N dan indikator yang digunakan yaitu amilum. Semakin tinggi angka iod maka semakin baik arang aktif dalam menyerap molekul yang kecil atau zat dalam fasa cair. Perbandingan daya serap iod arang aktif dengan penelitian sebelumnya diperlihatkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Daya serap iod arang aktif

Bahan baku	Suhu	Aktivator	Daya Serap Iod (mg/L)	Referensi
Tempurung kemiri	600°C, 700°C, 800°C	H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	435,00 609,85 810,48	[11]
Ampas kopi	600°C	HCL, H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	344,21	[12]
Tempurung kelapa	500°C, 600°C, 700°C, 800°C, 900°C, 1000°C	-	428,70 460,22 516,96 573,70 580,01 586,31	[13]
Ampas kopi	500°C, 700°C	-	762,13 992,65	[14]

Daya adsorpsi karbon aktif terhadap iod mempunyai korelasi dengan luas permukaan karbon aktif. Kereaktifan karbon aktif dapat dilihat dari kemampuannya mengadsorpsi substrat. Daya adsorpsi tersebut dapat ditunjukkan dengan besarnya angka iod yaitu angka yang menunjukkan seberapa besar adsorben dapat mengadsorpsi iod. Semakin besar nilai angka iod maka semakin besar pula daya adsorpsi dari adsorben. Dari penelitian, hasil analisis daya serap iod untuk suhu 150°C dan 250°C tidak memenuhi standar kualitas arang aktif berdasarkan SNI No. 06-3730-1995 yaitu sebesar 501,97 mg/L dan 593,2 mg/L. Hal ini dikarenakan pada suhu 150°C dan 250°C terjadi pembakaran

yang tidak sempurna yang ditandai dengan besarnya nilai kadar air yang dapat mengurangi mutu arang aktif sehingga mengurangi kemampuan daya serap arang aktif. Halangan molekul-molekul lain untuk masuk semakin besar dengan semakin besarnya molekul air di dalam karbon aktif [16]. Untuk analisis daya serap iod suhu 350°C, suhu 450°C dan suhu 550°C memenuhi standar kualitas arang aktif berdasarkan SNI. 06-3730-1995 yaitu sebesar 750,75 mg/L, 787,24 mg/L dan 760 mg/L. Seheinggavariasi suhu pembuatan arang aktif untuk pengujian kadar COD dan BOD hanya suhu 350°C, suhu 450°C dan suhu 550°C karena suhu 150°C dan suhu 250°C tidak memenuhi standar kualitas arang aktif berdasarkan SNI No. 06-3730-1995.

Analisis COD pada penelitian ini menggunakan metode reflux tertutup. Analisis ini dilakukan untuk mengetahui penurunan nilai COD pada limbah cair industri tahu dengan menggunakan arang aktif dari ampas kopi. Kadar COD sebelum dikontakkan dengan arang aktif yaitu 373,25 mg/L. Hasil pengukuran menunjukkan kadar COD yang lebih besar sebelum dikontakkan dengan arang aktif yaitu 373,25 mg/L. Hal ini menunjukkan tingginya zat organik yang terkandung di dalam limbah cair tersebut. Semakin tinggi zat organik yang terkandung di dalam limbah, maka kebutuhan oksigen untuk mengoksidasi secara kimia juga besar. Penurunan nilai COD limbah cair industri tahu pada ketiga suhu menunjukkan nilai yang jauh berbeda. Apabila dilihat ambang batas yang diperbolehkan untuk nilai COD sebesar 300 mg/L, maka didapatkan hasil kadar COD setelah dikontakkan dengan arang aktif yaitu 155,52 mg/L, 122,86 mg/L dan 143,08 mg/L memenuhi nilai standard baku mutu arang aktif berdasarkan SNI No. 06-3730-1995. Dari hasil pengujian didapatkan persentase penurunan yang paling besar pada suhu 450°C. Hal ini kereaktifan dari karbon aktif dapat dilihat dari kemampuannya mengadsorpsi substrat. Daya adsorpsi tersebut dapat ditunjukkan dengan besarnya angka iod yaitu angka yang menunjukkan seberapa besar adsorben dapat mengadsorpsi iod. Semakin besar nilai angka iod maka semakin besar pula daya adsorpsi dari adsorben. Jadi semakin besar daya adsorpsi dari arang aktif maka semakin besar pula kemampuan arang aktif untuk meningkat zat organik yang terkandung dalam air limbah tahu.

Tabel 4. Kadar COD limbah cair

Bahan baku	Jenis Limbah	Suhu	Aktivator	Kadar COD (mg/L)	Referensi
Fly ash batubara aktif	Limbar cair laboratorim biokimia	450°C	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	33,01	[17]
Karbon aktif	Limbah cair industri batik	-	HCL	16.444,08 98,	[18]
Ampas kopi	Limbah cair industri tahu	350°C, 450°C, 550°C	HCL	155,52 122,86 143,08	Penelitian ini

Perbandingan kadar COD dengan penelitian sebelumnya diperlihatkan pada Tabel 4. Dari tabel ini dapat dilihat bahwa terjadinya penurunan kadar COD pada sampel limbah. Besar atau kecilnya kadar COD atau persentase penurunan COD dipengaruhi oleh arang aktif, aktivator dan air limbah yang dianalisa dan suhu pembuatan arang aktif.

Nilai BOD menggambarkan tentang banyaknya jumlah oksigen yang dibutuhkan bagi stabilitas bahan - bahan organik

oleh aktivitas mikroorganisme aerob. Proses stabilisasi secara aerob akan mengakibatkan sel-sel mikroorganisme mengkonsumsi protoplasmanya sendiri sedangkan jaringan sel teroksidasi menjadi karbon dioksida, air dan amonia dan hanya sekitar 20 - 25 % bahan organik yang tidak terurai secara biologis (Santoso dan Gading, 1994). Besarnya nilai BOD dihitung dari selisih kadar oksigen sebelum dan sesudah inkubasi selama 5 hari pada suhu 20°C, karena persentase reaksi dari total reaksi BOD mencapai 75% dari total reaksi pada waktu inkubasi 5 hari dan dengan kondisi gelap untuk menghindari terjadinya proses fotosintesis yang menghasilkan oksigen dan diharapkan hanya terjadi proses dekomposisi oleh mikroorganisme, sehingga yang terjadi hanyalah penggunaan oksigen dan oksigen yang tersisa dapat di anggap sebagai DO5.

Kadar BOD sebelum dikontakkan dengan arang aktif yaitu 191,65 mg/L. Hasil tersebut menunjukkan jumlah oksigen yang dibutuhkan oleh mikroorganisme untuk meguraikan zat organik terlarut. Apabila dilihat dari ambang batas yang diperbolehkan untuk nilai BOD sebesar 150 mg/L, maka didapatkan hasil kadar BOD setelah dikontakkan dengan arang aktif yaitu 80,065 mg/L, 20,020 mg/L dan 40,035 mg/L memenuhi nilai standard baku mutu arang aktif berdasarkan SNI No. 06-3730-1995. Dari hasil pengujian didapatkan persentase penurunan yang paling besar pada suhu 450°C dengan penurunan kadar BOD 89,55%. Penurunan kadar BOD ini menunjukkan bahwa sebagian besar senyawa organik yang terkandung dalam air limbah tahu disebabkan karena arang aktif pada suhu 450°C sudah diaktivasi sehingga pori-pori terbuka dan dapat menyerap kadar BOD yang terkandung dalam air limbah tahu. Selain itu suhu 450°C merupakan suhu yang optimal untuk proses karbonisasi hal ini ditandai dengan besarnya nilai daya serap iod pada saat pengujian arang aktif.

Tabel 5. Kadar BOD limbah cair

Bahan baku	Jenis Limbah	Suhu	Aktivat or	Kadar BOD (mg/L)	Referensi
Fly ash batubara aktif	Limbar cair laboratorim biokimia	450°C	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	17,325	[17]
Karbon aktif	Limbah cair industri batik	-	HCL	1640,70	[18]
Ampas kopi	Limbah cair industri tahu	350°C, 450°C, 550°C	HCl	80,06 20,02 40,035	Penelitian ini

Dari Tabel 5 dapat dilihat bahwa terjadinya penurunan kadar COD pada sampel limbah. Besar atau kecilnya kadar COD atau persentase penurunan COD dipengaruhi oleh arang aktif, aktivator dan air limbah yang dianalisa dan suhu pembuatan arang aktif..

#### IV. KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa :

1. Suhu optimal untuk pembuatan arang aktif dari ampas kopi adalah 450°C, yang menghasilkan rendemen sebesar 32,56%. Pada suhu ini, kadar air yang diperoleh adalah 3,89%, kadar abu mencapai 2,96%, dan daya serap iod sebesar 787,24 mg/L, yang semuanya telah memenuhi standar baku mutu SNI No. 06-3730-1995.
2. Kadar COD yang terukur adalah 122,86 mg/L dengan persentase penurunan sebesar 67%, sedangkan kadar BOD adalah 20,02 mg/L dengan persentase penurunan sebesar 89%. Kadar COD dan BOD yang terukur setelah dikontakkan dengan arang aktif menunjukkan bahwa kedua parameter tersebut telah memenuhi baku mutu air limbah, sehingga arang aktif yang dihasilkan dari ampas kopi dapat dianggap efektif untuk aplikasi pengolahan air limbah.

#### REFERENSI

- [1] R. Wulansarie, D. S. Fardhyanti, H. Ardiansyah, H. Nuroddin, C. A. Salsabila, and T. Alifiananda. (2024). "Combination of adsorption using activated carbon and advanced oxidation processes (AOPs) using O<sub>3</sub>/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> in decreasing BOD of tofu liquid waste," in IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, Institute of Physics. doi: 10.1088/1755-1315/1381/1/012041.
- [2] H. Budiastuti, A. N. Rachmawati, D. Agustin, T. Paramitha, and Rusdianasari. (2024). "Tofu Liquid Waste Treatment Using Effective Volume of Anaerobic Sequencing Batch Reactor (ASBR)". KOVALEN: Jurnal Riset Kimia, vol. 10, no. 1, pp. 30–40. doi: 10.22487/kovalen.2024.v10.i1.16478.
- [3] P. Nugrahini Febriningrum, I. Nyoman Endra Astawa, J. Ir Sumantri Brojonegoro No, G. Meneng, K. Rajabasa, and K. Bandar Lampung. (2022). "Tofu Liquid Waste Treatment Process Using Anaerobic Baffled Reactor with Cow Stool and Lactobacillus casei Addition". [Online]. Available: <http://journal.unnes.ac.id/sju/index.php/ijcs>
- [4] S. Isworo, P. S. Oetari, D. Prabowo, and H. Cerlyawati. (2022). "Bioremediation Tofu Liquid Waste Based on Chemical Oxygen Demand (COD) Parameters". Annu Res Rev Biol, pp. 94–104. doi: 10.9734/arrb/2022/v37i1230561.
- [5] S. A. Warnares, B. Kamulyan, and A. T. Yuliansyah. (2022). "Bioremediation of Tofu Industry Liquid Waste Using Effective Microorganism-4 (EM4) Solution". ASEAN journal of System engineering, vol. 6, pp. 21–6, Jul. [Online]. Available: <http://journal.ugm.ac.id/index.php/ajse21>
- [6] I. Amri, P. Destinefa, and Z. Zultinair. (2020). "Pengolahan limbah cair tahu menjadi air bersih dengan metode elektrokoagulasi secara kontinyu". Chempublish Journal, vol. 5, no. 1, pp. 57–67. doi: 10.22437/chp.v5i1.7651.
- [7] M. C. Putri, R. Widiarini, and K. N. Ramadanintyas. (2024). "Effectiveness of Eco Enzymes in Reducing Chemical parameters of Tofu Factory Wastewater in Klumutan Village, Saradan Sub-District". Journal Of Social Research. doi: 10.55324/josr.v3i9.2255.
- [8] H. M. Chen, W. M. Lau, and D. Zhou. (2022). "Waste-Coffee-Derived Activated Carbon as Efficient Adsorbent for Water Treatment". Materials, vol. 15, no. 23. doi: 10.3390/ma15238684.
- [9] O. Y. J. Xien, S. N. Zailan, N. Mahmed, M. natashah Norizan, and I. S. Mohamad. (2024). "Ground Coffee Waste-Derived Activated Carbon: A Sustainable Adsorbent and Photocatalyst for Effective Methylene Blue Dye Degradation". doi: 10.58915/ijneam.v17iDecember.1612.
- [10] F. Ogata, H. Tominaga, H. Yabutani, and N. Kawasaki. (2011). "Removal of Fluoride Ions from Water by Adsorption onto Carbonaceous Materials Produced from Coffee Grounds". J. Oleo Sci, vol. 60, no. 12, pp. 619–625. doi: doi.org/10.5650/jos.60.619.
- [11] S. Darmawan, G. Pari, and K. Sofyan. (2009). "Optimasi Suhu dan Lama Aktivasi dengan Asam Fosfat Dalam Produksi Arang Aktif Tempurung Kemiri". Jurnal ilmu dan Teknologi Hasil Hutan, vol. 2, no. 2, pp. 51–56.
- [12] A. Imawati and J. H. Hadari Nawawi. (2015). "Kapasitas Adsorpsi Maksimum Ion Pb(II) Oleh Arang Aktif Ampas Kopi Teraktivasi HCl dan H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>". JKK, vol. 4, no. 2, pp. 50–61.
- [13] R. Idrus, B. Pahlanop Lapanporo, and Y. Satria Putra. (2013). "Pengaruh Suhu Aktivasi Terhadap Kualitas Karbon Aktif Berbahan Dasar Tempurung Kelapa". vol. I, no. 1, pp. 50–55.

- [14] D. Fernianti. (2013). "Analisis Kemampuan Adsorpsi Karbon Aktif Dari Ampas Kopi Bubuk Yang Sudah Diseduh". *Berkala Teknik*, vol. 3, no. 2, pp. 563–572.
- [15] Irmanto and Suyata (2010). "Optimasi Penurunan Nilai BOD, COD, dan TSS Limbah cair Industri Tapioka Menggunakan Arang Aktif Dari Ampas Kopi". *Molekul*, vol. 5, pp. 22–32.
- [16] A. S. Ahmed, M. Alsultan, R. T. Hameed, Y. F. Assim, and G. F. Swiegers. (2022). "High Surface Area Activated Charcoal for Water Purification," *Journal of Composites Science*, vol. 6, no. 10. doi: 10.3390/jcs6100311.
- [17] Rahmawati, S. Chadijah, and A. Ilyas, (2013). "Analisa penurunan kadar COD dan BOD Limbah Cair Laboratorium Biokimia UIN Makassar Menggunakan Fly Ash (Abu Terbang) Batubara". *Jurnal Al-Kimia*, pp. 64–75. doi: doi.org/10.24252/al-kimia.v1i1.1622.
- [18] N. Rochma and H. S. Titah. (2017). "Penurunan Bod dan Cod Limbah Cair Industri Batik Menggunakan Karbon Aktif Melalui Proses Adsorpsi Secara Batch". *Jurnal Teknik ITS*, vol. 6.