

Efisiensi Reaktor Kolom Dengan Media Ampas Tebu Kering dan Arang Aktif Ampas Tebu Untuk Menurunkan Polutan Pada Air Limbah Tahu

Efficiency of Column Reactor With Dry Bagasse Media and Sugarcane Grounds Activated Charcoal to Reduce Pollutants in Tofu Wastewater

Isnaini Nur Hidayati¹, Sudiro², Candra Dwiratna Wulandari³

^{1,2,3} Program Studi Teknik Lingkungan

Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Institut Teknologi Nasional Malang

Jl. Bendungan Sigura-gura No.2, Sumbersari, Lowokwaru, Kota Malang

Email : ¹isnurhhh@gmail.com ²sudiro_enviro@lecturer.itn.ac.id ³candra_wulandari@lecturer.itn.ac.id

ABSTRAK: Limbah cair industri tahu yang diteliti memiliki karakteristik kandungan polutan yang tinggi dengan TSS sebesar 305,5 mg/l, BOD sebesar 222,8 mg/l, COD sebesar 461,3 mg/l dan pH sebesar 4,95. Seluruh parameter tersebut telah melebihi baku mutu yang disyaratkan untuk kegiatan pemanfaatan lanjut, sebagaimana yang ditetapkan pada PP No. 22 Tahun 2021. Salah satu alternatif pengolahan yang dapat diterapkan untuk mengurangi kadar polutan limbah cair tahu adalah metode filtrasi- adsorpsi. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kemampuan dan efisiensi ampas tebu kering, arang aktif ampas tebu, serta kombinasi keduanya dalam menurunkan kadar TSS, BOD, COD, serta mengatur pH pada reaktor kolom filtrasi-adsorpsi. Variabel penelitian terdiri atas waktu detensi (60, 90, dan 120 menit) dan tiga jenis media pada reaktor kolom. Media tersebut adalah reaktor 1 : ampas tebu kering (45 cm), Reaktor 2 : arang aktif ampas tebu (45 cm), dan Reaktor 3 : kombinasi ampas tebu dan arang aktif ampas tebu (masing-masing 22,5 cm). Hasil penelitian menunjukkan bahwa proses filtrasi-adsorpsi efektif menurunkan konsentrasi polutan. Efisiensi penyisihan tertinggi yang dicapai adalah 66% untuk TSS, 51,7%, untuk BOD, dan 77,9 % untuk COD, serta meningkatkan pH dari 4,95 menjadi 6,13. Efisiensi tertinggi dicapai pada reaktor 3 dengan media kombinasi ampas tebu kering dan arang aktif ampas tebu pada waktu detensi 120 menit.

Kata Kunci : Adsorpsi, Ampas Tebu, Filtrasi, Limbah Tahu

ABSTRACT: The tofu industry liquid waste studied has the characteristics of a high pollutant content with a TSS of 305.5 mg/l, BOD of 222.8 mg/l, COD of 461.3 mg/l and a pH of 4.95. All of these parameters have exceeded the quality standards required for further utilization activities, as stipulated in Government Regulation No. 22 of 2021. One of the treatment alternatives that can be applied to reduce the level of pollutants in tofu liquid waste is the filtration-adsorption method. This study aims to analyze the ability and efficiency of dry bagasse, activated charcoal of bagasse, and the combination of the two in reducing the levels of TSS, BOD, COD, and regulating the pH in the filtration-adsorption column reactor. The study variables consisted of detention time (60, 90, and 120 minutes) and three types of media in the column reactor. The media are Reactor 1: dry bagasse (45 cm), Reactor 2: activated charcoal of bagasse (45 cm), and Reactor 3: a combination of bagasse and activated charcoal of bagasse (22.5 cm each). The results of the study showed that the filtration-adsorption process was effective in reducing the concentration of pollutants. The highest dispensing efficiency achieved was 66% for TSS, 51.7% for BOD, and 77.9% for COD, as well as increasing the pH from 4.95 to 6.13. The highest efficiency was achieved in reactor 3 with a combination of dried bagasse and activated charcoal of bagasse at a detention time of 120 minutes.

Keywords: Adsorption, Bagasse, Filtration, Tofu Waste

PENDAHULUAN

Tahu merupakan hasil ekstraksi protein kedelai yang digumpalkan menggunakan asam, ion kalsium, atau bahan penggumpal lainnya. Proses produksinya umumnya dilakukan secara sederhana di berbagai sentra industri tahu di Indonesia. Selain menghasilkan tahu sebagai produk utama, proses ini juga menimbulkan limbah padat, cair, dan gas. Limbah padat berupa ampas tahu dapat dimanfaatkan sebagai pakan ternak atau bahan olahan seperti kerupuk, kembang tahu, oncom, dan tempe gembus. Sementara itu, limbah cair berasal dari tahap pencucian dan perebusan kedelai (Pambudi et al., 2021). Dampak pencemaran air yang ditimbulkan oleh pencemaran limbah industri tahu adalah gangguan terhadap kehidupan biotik dan turunnya kualitas air akibat meningkatnya kandungan bahan organik dalam air (Aris et al., 2021).

Tebu (*Saccharum officinarum*) merupakan tanaman pemanis yang digunakan sebagai bahan baku pembuatan gula, karena batangnya mengandung sukrosa (Hanny et al., 2023). Ampas tebu merupakan hasil samping dari ekstraksi batang tebu pada proses produksi gula, di mana sekitar 62% dimanfaatkan sebagai bahan bakar ketel. Pemanfaatan ini didukung oleh kandungan serat yang tinggi, yaitu 44–52%, yang juga berpotensi digunakan sebagai bahan baku pembuatan membran penyaring (Candra et al., 2022). Ampas tebu mudah terbakar karena mengandung air, gula, serat, dan mikroba, sehingga saat tertumpuk dapat mengalami fermentasi dan menghasilkan panas. Arang aktif ampas tebu diperoleh melalui proses pembakaran tanpa oksigen (karbonisasi).

Salah satu alternatif untuk mengurangi pembuangan limbah cair tahu langsung ke sungai atau badan air adalah dengan menerapkan metode filtrasi dan adsorpsi. Filtrasi merupakan proses penyaringan air limbah melalui media tertentu untuk meningkatkan kualitas air, termasuk menyesuaikan pH, dengan memisahkan partikel terlarut. Sementara itu, adsorpsi adalah proses penyerapan zat pada permukaan adsorben. Berdasarkan konsep tersebut, penelitian ini menerapkan metode filtrasi menggunakan kolom reaktor berisi ampas tebu

kering dan arang aktif ampas tebu untuk mengolah limbah cair tahu.

METODOLOGI

Jenis penelitian ini adalah eksperimen terhadap bahan penelitian yaitu air limbah tahu. Pengolahan air limbah menggunakan proses filtrasi – adsorpsi menggunakan reaktor kolom dengan variasi jenis media (reaktor I: ampas tebu kering dengan ketinggian 45 cm, reaktor II: arang aktif ampas tebu dengan ketinggian 45 cm, dan reaktor III : kombinasi ampas tebu kering dan arang aktif ampas tebu dengan masing-masing ketinggian 22,5 cm) serta variasi waktu detensi (60, 90, dan 120 menit). Penelitian dilakukan selama 5 hari. Sampel limbah cair diambil dari pabrik tahu Sukun 73 di jalan S. Supriadi Kota Malang.

Penelitian ini menggunakan tiga reaktor kolom berukuran 15 × 15 × 60 cm, beaker glass 1000 mL, meteran, jerigen 20 L untuk menampung limbah cair tahu, pH meter, oven, neraca analitik, stopwatch, dan sarung tangan. Bahan yang digunakan meliputi ampas tebu kering, arang aktif dari ampas tebu, limbah cair tahu, dan kertas saring. Tahap persiapan media meliputi: (1) pengeringan ampas tebu di bawah sinar matahari selama 2–3 hari hingga kering; (2) karbonisasi pada suhu 300 °C selama 1 jam; (3) aktivasi dengan larutan HCl 1 M selama 2 jam. Proses filtrasi-adsorpsi dilakukan dengan: (1) menyiapkan reaktor dengan variasi media, yaitu reaktor 1 berisi ampas tebu kering setinggi 45 cm, reaktor 2 berisi arang aktif ampas tebu setinggi 45 cm, dan reaktor 3 berisi kombinasi ampas tebu kering serta arang aktif masing-masing setinggi 22,5 cm; (2) mengoperasikan sistem batch dengan arah aliran *down flow*; (3) melakukan pengambilan sampel dari pipa outlet pada variasi waktu detensi 60, 90, dan 120 menit. Parameter yang diuji meliputi TSS, BOD, COD, dan pH.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis awal air limbah bertujuan untuk mengetahui karakteristik awal air limbah tahu, sebelum dilakukam proses filtrasi- adsorpsi menggunakan media ampas tebu kering dan arang aktif ampas tebu. Hasil karakteristik awal air limbah tahu dapat dilihat pada tabel 1.

Tabel 1. Karakteristik Awal Air Limbah Tahu

No	Parameter	Konsentrasi*	Baku Mutu Limbah Cair**
1	TSS	305,5 mg/l	100 mg/l
2	BOD	222,8 mg/l	6 mg/l
3	COD	461,3 mg/l	40 mg/l
4	pH	4,95	6,0 – 9,0
5	Suhu	26 °C	Dev 3

Sumber: Hasil Analisis Laboratorium, 2025*
Peraturan Pemerintah No. 22 Tahun 2021
Lampiran VI**

Tabel 1 menunjukkan bahwa karakteristik awal limbah cair tahu telah melebihi baku mutu pembuangan maupun pemanfaatan lebih lanjut, sesuai dengan Peraturan Pemerintah No. 22 Tahun 2021 Lampiran VI, tentang baku mutu air sungai kelas III.

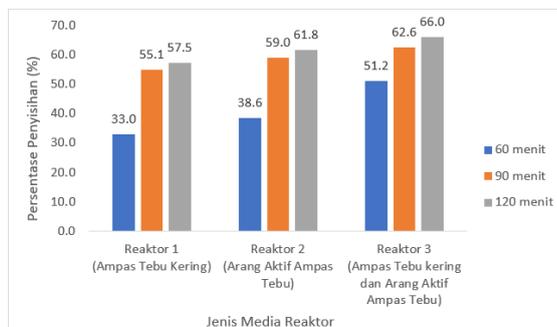
TSS (*Total Suspended Solid*)

Hasil data penelitian menunjukkan bahwa konsentrasi TSS (*Total Suspended Solid*) mengalami penurunan setelah melalui proses filtrasi. Hasil analisis TSS dapat dilihat pada tabel dibawah ini.

Tabel 2. Analisis TSS

Konsentrasi Awal (mg/l)	Media	Waktu Detensi (Menit)	Perlakuan			Rata-Rata	Persentase Penyisihan (%)
			1	2	3		
305,5	Reaktor 1	60	208,7	204	200,9	205	33
		90	190	188	185	187	38,6
		120	149,6	149,1	148,5	149	51,2
	Reaktor 2	60	138,4	136,1	136,9	137,1	55,1
		90	126,9	125,3	123,2	125,1	61,1
		120	115,9	113,8	112,7	114,1	63,7
	Reaktor 3	60	131,2	130,1	128,6	130	57,5
		90	117,6	116,8	116,1	117	61,8
		120	104,8	102,6	103,9	104	66

Data persentase penyisihan TSS pada tabel 2 dapat diplotkan menjadi sebuah grafik persentase penyisihan TSS pada gambar 1 berikut.



Gambar 1 Grafik Persentase Penyisihan TSS Hubungan Antara Jenis Media Reaktor Terhadap Persentase Penyisihan.

Penurunan konsentrasi Total Suspended Solids (TSS) sangat dipengaruhi oleh karakteristik media filtrasi yang digunakan, yaitu ampas tebu kering dan arang aktif dari ampas tebu. Ampas tebu kering berperan krusial dalam proses filtrasi karena kandungan seratnya yang tinggi, sekitar 44–52%. Kandungan serat ini tidak hanya efektif untuk filtrasi, tetapi juga menunjukkan potensi besar sebagai bahan baku untuk membran penyaring (Candra et al., 2022). Selain ampas tebu kering, arang aktif ampas tebu juga berperan dalam proses penyaringan dan penyerapan terhadap polutan. Media ini memiliki kemampuan penyerapan yang tinggi secara fisik dan kimia (Lista & Costa, 2023). Pengolahan air melibatkan dua mekanisme utama, yaitu proses kimia dan proses fisik. Proses kimia berfungsi menguraikan partikel terlarut menjadi senyawa yang lebih sederhana, membuatnya lebih mudah untuk dihilangkan melalui penyaringan (Edahwati & Suprihatin, 2020). Sebaliknya, proses fisik (Ratna & Purnomo, 2019) bertujuan menghilangkan partikel padat dengan melewatkan air melalui material berpori. Material ini, seperti karbon aktif, memiliki struktur makro dan mikropori yang sangat efektif dalam menyerap polutan berukuran kecil (Lista & Costa, 2023).

Faktor lain yang berpengaruh signifikan adalah waktu detensi. Hasil analisis pada penelitian konsisten menunjukkan bahwa semakin lama waktu detensi pada saat proses filtrasi adsorpsi, semakin tinggi efisiensi penurunan TSS, dengan nilai tertinggi dicapai pada 120 menit. Hal ini sejalan dengan penelitian Mahendra et al. (2021) dan Nugraha (2019), menyebutkan bahwa, semakin lama waktu detensi, persentase penurunan TSS semakin tinggi. Hal ini menegaskan bahwa durasi kontak antara air limbah dan media filter berperan penting dalam proses filtrasi. Kondisi ini terjadi karena semakin lama waktu kontak, proses difusi dan penempelan molekul adsorbat pada permukaan adsorben berlangsung lebih optimal, sehingga adsorpsi menjadi lebih efektif (Kurniawati & Sanuddin, 2020). Namun, permukaan adsorben yang tidak sepenuhnya terbuka dapat mengurangi luas area aktif, sehingga menurunkan efektivitas adsorben dalam mengikat partikel TSS pada limbah cair. (Kurniawati & Sanuddin, 2020).

Hasil pengolahan menunjukkan bahwa kadar TSS masih belum memenuhi baku mutu lingkungan untuk pemanfaatan lanjut,

sebagaimana tercantum pada Peraturan Pemerintah No. 22 Tahun 2021 Lampiran VI Kelas III, dengan batas maksimum 100 mg/L.

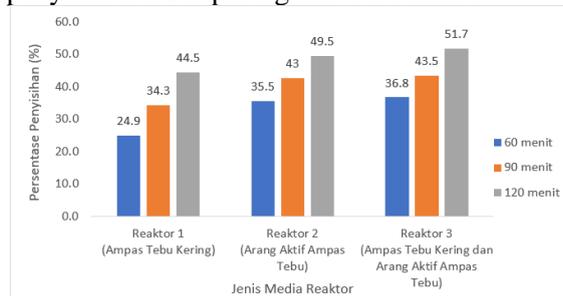
BOD (Biological Oxygen Demand)

Hasil data penelitian menunjukkan bahwa konsentrasi BOD (*Biological Oxygen Demand*) mengalami penurunan setelah melalui proses filtrasi. Hasil analisis BOD dapat dilihat pada tabel dibawah ini.

Tabel 3 Analisis BOD

Konsentrasi Awal (mg/l)	Media	Waktu Detensi (Menit)	Perlakuan			Rata - Rata	Persentase Penyisihan (%)
			1	2	3		
222,8	Reaktor 1	60	169,9	167	164,8	167,3	24,9
		90	147,2	146,6	145,3	146,3	34,3
		120	124,8	123,2	122,7	123,6	44,5
222,8	Reaktor 2	60	145,6	143,2	142,1	143,6	35,5
		90	128,8	127,5	126,6	127,6	43
		120	113,6	111,2	112,8	112,5	49
222,8	Reaktor 3	60	142,4	140,8	139,5	140,9	36,8
		90	126,4	125,6	125,4	126	43,5
		120	108,8	107,2	106,6	108	51,7

Data persentase penyisihan BOD pada tabel 3 dapat diplotkan menjadi grafik persentase penyisihan BOD pada gambar 2 berikut.



Gambar 2 Grafik Persentase Penyisihan BOD Hubungan Antara Jenis Media Reaktor Terhadap Persentase Penyisihan

Penurunan BOD terutama terjadi melalui proses fisik, yakni pengendapan dan penangkapan material partikulat pada media filter (Ningsih, 2017). Filtrasi berperan dalam menyaring padatan tersuspensi (SS) yang umumnya mengandung bahan organik. Karena sebagian besar senyawa penyumbang BOD terikat pada partikel, maka penghilangan padatan akan menurunkan nilai BOD. Dalam penelitian ini digunakan media filter berupa ampas tebu dan arang aktif dari ampas tebu.

Arang aktif dari ampas tebu mengandung arang sebesar 60,15% dan selulosa 42,67%, sehingga berpotensi menjadi adsorben yang efektif (Ariyani et al., 2020). Struktur pori-pori pada permukaan karbon aktif menyediakan area

luas yang mendukung proses adsorpsi, memungkinkan penyerapan senyawa organik dari air limbah dan secara langsung membantu menurunkan nilai BOD (Febrianto et al., 2024). Karbon aktif dari ampas tebu berfungsi mengadsorpsi senyawa organik dalam limbah cair, sehingga mengurangi kebutuhan oksigen oleh mikroorganisme dalam proses dekomposisi. Dengan demikian, kadar BOD pada air limbah dapat diturunkan (Rofikoh et al., 2024).

Faktor lain yang mempengaruhi penurunan BOD adalah waktu detensi. Semakin lama waktu detensi, semakin besar pula penyisihan yang terjadi (Hidayat, 2023). Penelitian menunjukkan bahwa waktu detensi selama 120 menit menghasilkan efisiensi penyisihan tertinggi. Hal ini menegaskan bahwa waktu detensi memiliki pengaruh signifikan dalam mengurangi kadar BOD pada limbah (Nugraha, 2019). Penurunan nilai BOD terjadi karena karbon aktif mengadsorpsi bahan buangan dalam air limbah, sehingga beban organik berkurang dan kebutuhan oksigen untuk proses dekomposisi oleh mikroorganisme menjadi lebih rendah. (Nugraha, 2019).

Hasil yang diperoleh pada kadar BOD setelah pengolahan belum mampu memenuhi baku mutu lingkungan untuk pemanfaatan lanjut, seperti yang tercantum pada Peraturan Pemerintah No. 22 Tahun 2021 Tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup Lampiran VI Kelas 3 dengan batas maksimum adalah 6 mg/l.

COD (Chemical Oxygen Demand)

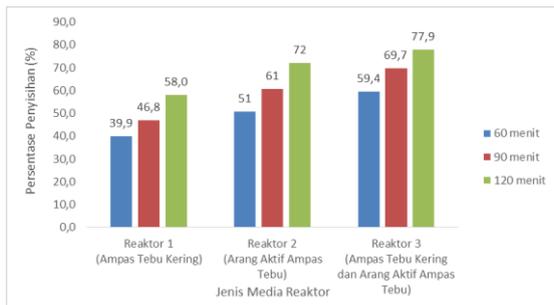
Data penelitian menunjukkan konsentrasi COD (*Chemical Oxygen Demand*) mengalami penurunan setelah melalui proses filtrasi. Hasil analisis dapat dilihat pada tabel dibawah ini.

Tabel 4 Hasil Analisis COD

Konsentrasi Awal (mg/l)	Media	Waktu Detensi (Menit)	Perlakuan			Rata -Rata	Persentase Penyisihan (%)
			1	2	3		
461,3	Reaktor 1	60	280	277	274	277,1	39,9
		90	248	245	243	245,3	46,8
		120	192	196	194	193,9	58
	Reaktor 2	60	230	228	224	227,2	51
		90	184	180	181	181,6	61
		120	128	130	129	129,1	72
	Reaktor 3	60	190	188	184	187	59,4
		90	136	140	144	140	69,7
		120	102	100	104	102	77,9

Data persentase penyisihan COD pada tabel 4

dapat diplotkan menjadi grafik persentase penyisihan COD pada gambar 3 berikut.



Grafik 3 Grafik Persentase Penyisihan COD Hubungan Antara Jenis Media Reaktor Terhadap Persentase Penyisihan

Penurunan kadar COD dalam pengolahan air limbah dapat dilakukan menggunakan arang aktif sebagai bahan penyerap. Pada proses ini, partikel pencemar menempel pada permukaan arang melalui mekanisme adsorpsi yang didorong oleh gaya Van der Waals. Jika terbentuk ikatan kimia antara zat pencemar (adsorbat) dan arang aktif (adsorben), proses tersebut disebut adsorpsi kimia (Kurniawati & Sanuddin, 2020). Karena pori-pori karbon aktif yang sangat banyak, partikel zat pencemar tertarik dan terperangkap di dalamnya, sehingga kadar COD dalam limbah cair berkurang secara signifikan (Asadiya, 2018).

Penyaringan air limbah berperan penting dalam efisiensi pengurangan kadar COD, sehingga proses penguraian bahan organik dapat mengurangi beban oksigen yang dibutuhkan (Purwasih & Rahayu, 2022). Secara umum, nilai COD lebih tinggi dibandingkan nilai BOD karena BOD hanya dipengaruhi oleh kandungan TSS dan zat organik dalam air, sedangkan COD dipengaruhi oleh seluruh jenis pengotor, termasuk zat organik, mineral dengan valensi rendah, dan senyawa kimia lain yang reaktif terhadap oksigen (oxygen scavenger). Semakin tinggi nilai COD, semakin besar pula jumlah oksigen yang dibutuhkan untuk mengoksidasi senyawa organik dalam sampel air limbah (Mulia & Syafiuddin, 2022). Penggunaan proses filtrasi dengan kombinasi adsorben terbukti efektif menurunkan kadar COD dengan menyerap polutan organik dalam limbah. Berdasarkan hasil penelitian tersebut, dapat disimpulkan bahwa filtrasi dengan kombinasi adsorben mampu secara signifikan mengurangi kadar COD dalam air limbah (Pungus et al., 2019).

Waktu detensi berperan penting dalam

penurunan konsentrasi COD, karena lamanya kontak antara mikroorganisme dan limbah cair yang mengandung zat organik memengaruhi proses penguraian senyawa organik kompleks. Apabila waktu detensi terlalu singkat, penguraian tidak berlangsung optimal sehingga dapat menyebabkan peningkatan nilai COD (Aida et al., 2024). Sebaliknya, semakin lama waktu detensi, efisiensi penurunan nilai COD pada air limbah akan semakin besar (Rusdianto et al., 2022).

Hasil pengolahan menunjukkan bahwa kadar COD masih belum memenuhi baku mutu lingkungan untuk pemanfaatan lanjut, sesuai Peraturan Pemerintah No. 22 Tahun 2021 Lampiran VI Kelas III, dengan batas maksimum 40 mg/L.

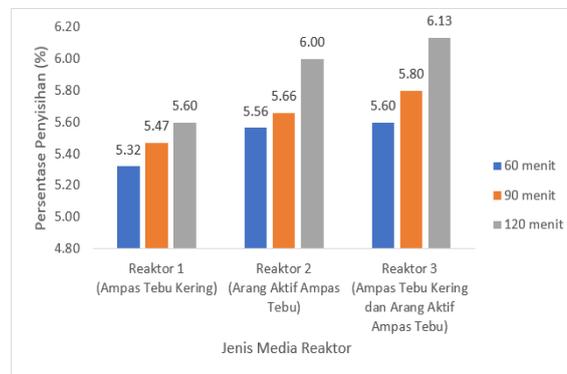
pH

Data penelitian menunjukkan jikapH mengalami kenaikan setelah melalui proses filtrasi. Hasil pH dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 5 Nilai pH pada air limbah tahu

Nilai Awal	Media	Waktu Detensi (Menit)	Perlakuan			Rata -Rata
			1	2	3	
4,95	Reaktor 1	60	5,30	5,31	5,35	5,32
		90	5,45	5,47	5,49	5,47
		120	5,58	5,61	5,62	5,60
	Reaktor 2	60	5,54	5,57	5,58	5,56
		90	5,64	5,66	5,67	5,66
		120	5,98	6,00	6,01	6,00
	Reaktor 3	60	5,58	5,60	5,61	5,60
		90	5,79	5,80	5,81	5,80
		120	6,12	6,14	6,13	6,13

Hasil data pH pada tabel 5 dapat diplotkan menjadi grafik pH pada gambar 4 berikut.



Grafik 4 data pH Hubungan Antara Jenis Media Reaktor Terhadap Persentase Penyisihan

Filtrasi mempunyai peran dalam meningkatkan kualitas pH air limbah, dengan

cara memisahkan partikel tersuspensi dan koloid, mengurangi jumlah bakteri serta organisme lainnya, dan memicu pertukaran unsur kimia dalam air (Purwasih & Rahayu, 2022). Penggunaan media filtrasi menggunakan kombinasi arang aktif terbukti memberikan pengaruh signifikan terhadap perubahan tingkat keasaman air limbah, ditandai dengan peningkatan pH menuju kondisi netral (Tumimomor et al., 2020).

Keasaman limbah cair tahu disebabkan oleh kandungan bahan pencemar organik seperti asam organik, karbon organik, nitrat, dan fosfat. Nilai pH limbah sebelum pengolahan adalah 4,95, menunjukkan kondisi asam. Hal ini karena limbah mengandung asam cuka sisa dari proses penggumpalan dan perendaman tahu serta tempe (Sayow et al., 2020). Hasil penelitian menunjukkan bahwa penambahan karbon aktif yang dibuat dari ampas tebu dan diaktivasi menggunakan asam klorida (HCl) berperan signifikan dalam meningkatkan nilai pH limbah cair tahu. Karbon aktif jenis ini mampu mengurangi keasaman limbah dengan cara mengikat dan menghilangkan senyawa-senyawa asam yang terkandung di dalamnya (Hatina et al., 2020). Proses aktivasi dengan HCl juga berpengaruh pada kadar air dalam arang aktif tersebut. Aktivasi kimiawi ini membuat arang memiliki sifat higroskopis, sehingga dapat menyerap dan menghilangkan air yang ada di dalam struktur karbon aktif, sehingga menghasilkan kadar air yang lebih rendah dibandingkan arang yang tidak diaktivasi (Nurbaeti et al., 2018).

Semakin lama waktu detensi yang diterapkan dalam proses pengolahan limbah, maka nilai pH limbah cenderung mengalami peningkatan. Hal ini disebabkan oleh berkurangnya kandungan zat pengotor yang dapat memengaruhi tingkat keasaman atau kebasahan air limbah tersebut (Yulis et al., 2021). Penambahan media filter seperti karbon aktif dalam proses filtrasi berperan penting dalam memperlambat laju aliran air limbah, sehingga memungkinkan waktu kontak antara limbah dan media adsorben menjadi lebih lama. Dengan waktu kontak yang lebih lama, karbon aktif dapat menyerap zat-zat asam organik dalam limbah dengan lebih efektif dan optimal. Oleh karena itu, peningkatan waktu detensi secara langsung berkontribusi terhadap besarnya perubahan nilai pH yang terjadi selama proses pengolahan limbah, di mana pH akan cenderung bergeser menuju kondisi yang

lebih netral atau bahkan sedikit basa seiring berjalannya waktu (Aida et al., 2024).

Hasil yang diperoleh mampu memenuhi standar baku mutu yang telah ditetapkan dalam Peraturan Pemerintah No. 22 Tahun 2021 Tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup Lampiran VI Kelas 3 dengan batas maksimum pH adalah 6 – 9. Penggunaan HCl pada aktivasi adsorpsi dapat menyebabkan pH meningkat (Hatina et al., 2020).

Kesimpulan

1. Kombinasi media ampas tebu kering dan arang aktif pada reaktor dengan waktu detensi 120 menit merupakan kondisi paling optimal, dengan efisiensi penyisihan sebesar 66 % untuk TSS, 51,7% untuk BOD, dan 77,9% untuk COD, serta menaikkan pH menjadi 6,13.
2. Efisiensi tertinggi dari proses filtrasi adsorpsi reaktor kolom dicapai pada reaktor 3 (kombinasi media ampas tebu kering dan arang aktif ampas tebu) pada perlakuan waktu detensi selama 120 menit, dibandingkan dengan reaktor 1 (ampas tebu kering) dan reaktor 2 (arang aktif ampas tebu).

Saran

1. Penelitian berikutnya diharapkan mempertimbangkan waktu detensi yang lebih panjang sehingga hasil penurunan pencemar pada air limbah dapat mencapai baku mutu yang berlaku.
2. Disarankan agar dilakukan variasi pada partikel kombinasi dengan media lain, agar meningkatkan efisiensi penurunan polutan dengan metode filtrasi dan adsorpsi ini pada air limbah tahu.

DAFTAR PUSTAKA

- Ariyani, R., Wirawan, T., & Hindryawati, N. (2020). Pembuatan arang aktif dari ampas tebu dan aplikasinya sebagai adsorben zat warna merah dari limbah pencelupan benang tenun sarung Samarinda. *Prosiding Seminar Nasional Kimia Berwawasan Lingkungan*, 86–94.
- Aris, B. S., Rudi, & Lasarido. (2021). Pengelolaan limbah industri tahu menggunakan berbagai jenis tanaman dengan metode fitoremediasi. *Jurnal AGRIFOR*, 20(2), 257–264.

- Asadiya, A. (2018). Pengolahan air limbah domestik menggunakan proses aerasi, pengendapan, dan filtrasi media zeolit arang aktif. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 5(1), 86–96.
- Candra, I. N., Sugiono, & Amir, H. (2022). Pembuatan membran dari ampas tebu dan aplikasinya untuk menyaring air tanah dan air gambut. *Alotrop*, 6(2), 118–122.
- Edahwati, L., & Suprihatin. (2020). Kombinasi proses aerasi, adsorpsi, dan filtrasi pada pengolahan air limbah industri perikanan. *Teknik Lingkungan*, 1(2), 79–83.
- Febrianto, M. A., Sujiwa, A., Shofwan, M., & Majid, D. (2024). Penurunan kadar BOD, COD dan turbidity limbah cair industri batik melalui metode kombinasi pretreatment filtrasi adsorpsi dan elektrokoagulasi. *Jurnal Reka Lingkungan*, 11(3), 258–269.
- Hanny, W. A., Purwono, & Suwanto. (2023). Ketepatan taksasi produksi tebu (*Saccharum officinarum* L.) di PG Madukismo Yogyakarta. *Buletin Agrohorti*, 11(3), 407–414.
- Hatina, S., Komala, R., & Wahyudi, R. (2020). Pemanfaatan HCl dan CaCl₂ sebagai zat aktivator dalam pengolahan limbah industri tahu. *Jurnal Redoks*, 5(1), 20–31.
- Hidayat, D. (2023). Kombinasi proses aerasi, adsorpsi dan filtrasi pada pengolahan limbah cair ikan di Pasar Lampulo Kota Banda Aceh. unpDisertasi doctoral, UIN Ar-Raniry].
- Kurniawati, E., & Sanuddin, M. (2020). Metode filtrasi dan adsorpsi dengan variasi lama kontak dalam pengolahan limbah cair batik. *Riset Informasi Kesehatan*, 9(2), 126–133.
- Lista, Y. P., & Costa, M. D. (2023). Penurunan konsentrasi total suspended solid (TSS) dan fosfat dalam limbah laundry menggunakan metode biosand filter. *ENVIROTECHSAINS: Jurnal Teknik Lingkungan*, 1(1), 26–32.
- Mahendra, C. A. A., Setyobudiarso, H., & Sudiro. (2021). Kombinasi teknologi aerasi filtrasi pada pengolahan air limbah domestik (grey water) di Rusunawa Buring 1. *Jurnal Enviro*, 1, 1–9.
- Mulia, M. I., & Syafiuddin, A. (2022). Kemampuan saringan pasir lambat dikombinasikan dengan karbon aktif sebagai alternatif pengolahan air limbah tempe. *Jurnal Sosial dan Sains*, 2(8), 874–888.
- Ningsih, D. A. (2017). Uji penurunan kandungan BOD, COD, dan warna pada limbah cair pewarnaan batik menggunakan *Scirpus grossus* dan *Iris pseudacorus* dengan sistem pemaparan intermitten.
- Nugraha, B. (2019). Variasi waktu detensi pada filtrasi pengolahan air limbah grey water dalam penurunan beban pencemar [Skripsi, Universitas Brawijaya].
- Nurbaeti, L., Prasetya, A. T., & Kusumastuti, E. (2018). Arang ampas tebu (*bagasse*) teraktivasi asam klorida sebagai penurun kadar ion H₂PO₄⁻. *Indonesian Journal of Chemical Science*, 7(2), 1–8.
- Pambudi, Y. S., Sudaryantiningih, C., & Geraldita, G. (2021). Analisis karakteristik air limbah industri tahu dan alternatif proses pengolahannya berdasarkan prinsip-prinsip teknologi tepat guna. *Jurnal Ilmiah Indonesia*, 6(8), 4180–4192.
- Pungus, M., Palilingan, S., & Tumimomor, F. (2019). Penurunan kadar BOD dan COD dalam limbah cair laundry menggunakan kombinasi adsorben alam sebagai media filtrasi. *Journal of Chemistry*, 4(2), 54–60.
- Purwasih, R., & Rahayu, W. E. (2022). Pengaruh penyaringan terhadap konsentrasi chemical oxygen demand, total suspended solid, dan pH limbah cair industri tahu. *Jurnal Ilmiah Ilmu dan Teknologi Rekayasa*, 4(1), 30–37.
- Ratna, Z., & Purnomo, Y. S. (2019). Penurunan mangan dengan aplikasi filter dan karbon aktif. *Jurnal Envirotek*, 11(2), 1–8.
- Rofikoh, V., Zaman, B., & Samadikun, B. P. (2024). Penyisihan BOD, minyak dan lemak dalam air limbah domestik dengan menggunakan karbon aktif dari kulit

pisang. *Jurnal Kesehatan Lingkungan Indonesia*, 23(1), 59–66.

Rusdianto, A. T., & Fitriyah. (2022). Efisiensi adsorpsi arang tempurung kelapa (*Cocos nucifera* L) dalam menurunkan kadar BOD, COD, TSS dan pH pada limbah cair detergen rumah tangga. *Jurnal Lingkungan dan Sumberdaya Alam (JURNALIS)*, 5(1), 73–83.

Sayow, F., Polii, B. V. J., Tilaar, W., & Augustine, K. D. (2020). Analisis kandungan limbah industri tahu dan tempe Rahayu di Kelurahan Uner Kecamatan Kawangkoan Kabupaten Minahasa. *Agri-Sosioekonomi*, 16(2), 245–252.

Tumimomor, F., Palilingan, S., & Pungus, M. (2020). Pengaruh filtrasi terhadap pH, TDS, konduktansi dan suhu air limbah laundry. *Jurnal Pendidikan Fisika Unima*, 1(1), 1–9.

Yulis, P. A. R., Sari, Y., & Desti. (2021). Pemanfaatan limbah kulit pisang kepok (*Musa acuminata* × *balbisiana*) sebagai media filtrasi peningkatan kualitas air (tingkat kejernihan air, pH dan TDS). *Dalton: Jurnal Pendidikan Kimia dan Ilmu Kimia*, 4(2), 34–43.