

# **Reuse Air Limbah Rusunawa Menggunakan Teknologi SBR-Membran Ultrafiltrasi dan SBR-Adsorpsi Menjadi Air Bersih**

Nada Salsabilah, Novirina Hendrasarie\*

Program Studi Teknik Lingkungan, Universitas Pembangunan Nasional Veteran Jawa Timur, Surabaya

\*Koresponden email: novirina@upnjatim.ac.id

Diterima: 23 April 2026

Disetujui: 02 Mei 2026

## **Abstract**

Liquid waste from septic tanks in densely populated residential areas, such as the Gunung Anyar Flats (Rusunawa Gunung Anyar), Surabaya, is a significant environmental management issue. This study aims to analyze the effectiveness of the combined Sequencing Batch Reactor (SBR) and adsorption processes in treating domestic wastewater and to evaluate the removal efficiency of pollutant parameters. The SBR process was carried out with varying hydraulic retention times (HRTs) of 12, 24, and 36 hours. The effluent from the SBR process was then adsorbed using adsorbents from cassava peels and corn cobs that had been activated for 1 day. The parameters analyzed included COD, BOD<sub>5</sub>, TSS, ammonia, and total phosphate. This study also compared the performance of the SBR-adsorption combination with SBR-ultrafiltration, which showed that both methods have the potential to improve effluent quality to meet reuse criteria. The results showed that the adsorption method performed better than ultrafiltration in removing organic and nutrient parameters. BOD removal efficiency reached 84–91% for cassava peels and 86–90% for corn cobs, while ultrafiltration was in the range of 75–79%. For COD parameters, ultrafiltration efficiency ranged from 52–59%, while adsorption for cassava peels reached 66–74% and for corn cobs 70–80%. For nutrient parameters, adsorption showed higher efficiency, up to 90% under some conditions. Conversely, for TSS parameters, ultrafiltration showed better performance with an efficiency of up to 80%.

**Keywords:** *septic tank, sequencing batch reactor, adsorption, ultrafiltration, wastewater domestic*

## **Abstrak**

Limbah cair yang berasal dari septic tank di kawasan permukiman padat penduduk, seperti Rusunawa Gunung Anyar, Surabaya, menjadi salah satu permasalahan penting dalam pengelolaan lingkungan. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis efektivitas kombinasi proses *Sequencing Batch Reactor* (SBR) dan adsorpsi dalam mengolah limbah domestik serta mengevaluasi efisiensi penyisihan parameter pencemar. Proses SBR dilakukan dengan variasi waktu tinggal hidrolis (HRT) yaitu 12 jam, 24 jam, dan 36 jam. Efluen dari proses SBR kemudian dilanjutkan dengan proses adsorpsi menggunakan adsorben dari kulit singkong dan bonggol jagung yang telah diaktivasi selama 1 hari. Parameter yang dianalisis meliputi COD, BOD<sub>5</sub>, TSS, amonia, dan total fosfat. Penelitian ini juga membandingkan kinerja kombinasi SBR-adsorpsi dengan SBR-ultrafiltrasi, yang menunjukkan bahwa kedua metode memiliki potensi dalam meningkatkan kualitas efluen hingga memenuhi kriteria pemanfaatan kembali (*reuse*). Hasil penelitian menunjukkan bahwa metode adsorpsi memiliki kinerja yang lebih baik dibandingkan ultrafiltrasi dalam menyisihkan parameter organik dan nutrisi. Efisiensi penyisihan BOD mencapai 84–91% pada kulit singkong dan 86–90% pada bonggol jagung, sedangkan ultrafiltrasi berada pada kisaran 75–79%. Pada parameter COD, efisiensi ultrafiltrasi berkisar antara 52–59%, sementara adsorpsi kulit singkong mencapai 66–74% dan bonggol jagung 70–80%. Untuk parameter nutrisi, adsorpsi menunjukkan efisiensi yang lebih tinggi, yaitu hingga 90% pada beberapa kondisi. Sebaliknya pada parameter TSS, ultrafiltrasi menunjukkan kinerja yang lebih baik dengan efisiensi hingga 80%.

**Kata Kunci:** *tangki septik, sequencing batch reactor, adsorpsi, ultrafiltrasi, air limbah domestik*

## **1. Pendahuluan**

Limbah cair domestik yang berasal dari septic tank merupakan salah satu sumber pencemar yang signifikan di kawasan permukiman padat penduduk. Limbah ini dihasilkan dari berbagai aktivitas rumah tangga seperti mandi, mencuci, dan sanitasi. Pada kawasan hunian bertingkat seperti Rusunawa Gunung Anyar, Surabaya, volume limbah domestik cenderung meningkat seiring dengan penambahan jumlah penghuni. Efluen septic tank masih mengandung bahan organik, padatan tersuspensi, serta parameter lain

yang berpotensi mencemari lingkungan apabila tidak diolah secara optimal [1]. Oleh karena itu, diperlukan upaya pengolahan yang efektif untuk menurunkan kadar pencemar untuk dimanfaatkan kembali.

Salah satu teknologi pengolahan yang dapat diterapkan adalah *Sequencing Batch Reactor* (SBR), yang merupakan sistem biologis dengan prinsip operasi fill and draw dalam satu reaktor yang terdiri dari tahap pengisian, reaksi, pengendapan, dan pembuangan. Teknologi ini dikenal efektif, efisien, serta memiliki fleksibilitas operasional yang tinggi dalam pengolahan air limbah [2]. Namun, proses *Sequencing Batch Reactor* (SBR) umumnya masih memerlukan pengolahan lanjutan untuk meningkatkan kualitas efluen. Salah satu metode yang dapat digunakan adalah adsorpsi dengan adsorben berbasis limbah pertanian, seperti kulit singkong dan bonggol jagung, yang memiliki kandungan lignoselulosa serta potensi daya adsorpsi yang baik [3]. SBR sendiri merupakan sistem biologis dengan tahapan operasi terintegrasi dalam satu reaktor, meliputi pengisian (fill), reaksi (react), pengendapan (settle), dan pembuangan (decant), sehingga proses pengolahan berlangsung lebih efisien. Pada penelitian [4] menunjukkan bahwa penambahan media atau adsorben dalam sistem SBR dapat meningkatkan efisiensi penyisihan parameter pencemar.

Selain itu, teknologi membran seperti ultrafiltrasi juga dapat digunakan untuk meningkatkan kualitas efluen melalui penyisihan partikel tersuspensi dan mikroorganisme secara efektif [5]. Oleh karena itu, kombinasi proses SBR dengan adsorpsi maupun ultrafiltrasi diharapkan dapat meningkatkan efisiensi pengolahan limbah domestik. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis efektivitas kedua kombinasi tersebut dalam menurunkan parameter pencemar serta mengevaluasi potensi pemanfaatan kembali (*reuse*) air hasil olahan.

## 2. Metode Penelitian

Penelitian menggunakan metode SBR (*Sequencing Batch Reactor*), adsorpsi, ultrafiltrasi. Beberapa variabel yang digunakan seperti diantaranya terdapat variabel tetap yaitu sampel air limbah *septic tank*, metode pengolahan yang ditentukan dan tinggi adsorben sebesar 15 cm. Juga dengan variabel bebas terdapat perbandingan antara metode yang digunakan yaitu SBR-adsorpsi dan SBR-ultrafiltrasi, HRT 12 jam, 24 jam, 36 jam dengan laju aerasi 14 L/menit pada unit SBR, jenis media adsorben yang digunakan kulit singkong dan bonggol jagung. Terakhir pada parameter yang dianalisis adalah BOD<sub>5</sub>, COD, TSS, Amonia, Total Phosphate. Pengambilan sampling dilakukan di tiap bak pengolahan guna mengetahui penurunan dan efektivitas tiap bak terhadap parameter.

Sebelum proses pengolahan SBR, terlebih dahulu dilakukannya pre-treatment yaitu seeding dan aklimatisasi. Pada proses SBR (*Sequencing Batch Reactor*) menggunakan variasi HRT yaitu 12 jam, 24 jam dan 36 jam, setelah proses SBR (*Sequencing Batch Reactor*) dilakukan sampling air limbah untuk mengetahui penurunan parameternya. Setelah itu ada proses adsorpsi yang berisi adsorben yang telah diaktivasi yaitu bonggol jagung dan kulit singkong dengan ketinggian adsorben 15 cm. selanjutnya ada proses ultrafiltrasi.

Sebelum dilakukan penelitian utama metode SBR-adsorpsi dan SBR-ultrafiltrasi, terlebih dahulu dilakukan penelitian awal yaitu mengujikan parameter asli air limbah *septic tank* berupa BOD<sub>5</sub>, COD, TSS, Amonia, Total Phospat, minyak dan lemak, total nitrogen guna mengetahui kondisi awal air limbah *septic tank* dan menyesuaikan dengan baku mutu. Proses pengolahan metode SBR-adsorpsi dan SBR-ultrafiltrasi dilakukan secara batch yaitu pre-treatment sebelum proses SBR, lalu proses pengolahan SBR, proses adsorpsi dan proses ultrafiltrasi.

## 3. Hasil dan Pembahasan

Parameter yang diuji yaitu zat organik seperti BOD<sub>5</sub>, COD, TSS, Amonia, Total Phosphate. Parameter yang digunakan untuk perbandingan yaitu mengarah pada Permen LHK No. 68 Tahun 2016 [6] dan PP No.22 thn 2021 [7] tentang pengolahan limbah yaitu peraturan mengenai baku mutu air limbah domestik dan air yang aman untuk digunakan. Sesuai dengan metode yaitu pada awal pengujian dilakukan uji air limbah *septic tank* untuk mengetahui karakteristiknya. Lalu dilakukan pengolahan awal dengan seeding dan aklimatisasi dilanjutkan dengan *Sequencing Batch Reactor* (SBR). Lalu dilanjutkan adsorpsi dan ultrafiltrasi.

Sebelum dilakukan rangkaian proses pengolahan, langkah pertama yang dilakukan adalah mengidentifikasi karakteristik awal air limbah. Hasil pengujian awal yang disajikan pada **Tabel 1** menunjukkan bahwa air limbah memiliki beban pencemar organik dan nutrien yang sangat tinggi, sehingga memerlukan penanganan khusus sebelum dapat dilepas ke badan air atau dapat digunakan untuk kebutuhan lainnya seperti menyiram tanaman atau kloset.

**Tabel 1.** Hasil Uji Awal Air Limbah

No	Parameter	Hasil Uji	Baku Mutu Air Limbah Domestik (Permen LHK No. 68 Tahun 2016)	Baku Mutu Air Sungai Kelas 3 (PP No. 22 Tahun 2021)	Satuan	Keterangan
1	pH	7,02	6-9	6-9		
2	BOD <sub>5</sub>	165	30	6	mg/L	Melebihi
3	COD	174,72	100	40	mg/L	Melebihi
4	TSS	210	30	100	mg/L	Melebihi
5	TDS	480		1000	mg/L	Memenuhi
6	Amonia (NH <sub>3</sub> )	204	10	0,5	mg/L	Melebihi
7	Total Coliform	>1600	3000	10.000	Jumlah/100 mL	Memenuhi
8	Minyak Lemak	<5	5	1	mg/L	Memenuhi
9	Total Phosphate	29		1	mg/L	Melebihi
10	Total Nitrogen	12		25	mg/L	Memenuhi

Sumber : Hasil Pengujian (2025)

Tingginya Beban Organik dan Padatan Kondisi air limbah awal ini ditandai dengan nilai BOD<sub>5</sub> sebesar 165 mg/L dan COD sebesar 174,72 mg/L. Jika dikomparasikan dengan Baku Mutu Air Limbah Domestik (Permen LHK No. 68 Tahun 2016), kedua nilai ini jauh melampaui ambang batas yang ditetapkan. Hal ini mengindikasikan bahwa air limbah mengandung konsentrasi zat organik yang tinggi, yang apabila dibuang langsung tanpa pengolahan, akan mengonsumsi oksigen terlarut di sungai secara drastis dan mengancam kelangsungan ekosistem air. Sejalan dengan itu, kadar TSS yang mencapai 210 mg/L juga menunjukkan banyaknya partikel tersuspensi yang berpotensi meningkatkan kekeruhan badan air penerima. Masalah Nutrien yang Signifikan Temuan yang paling mencolok pada pengujian awal ini adalah kadar Amonia (NH<sub>3</sub>) yang mencapai 204 mg/L.

Angka ini menunjukkan deviasi yang sangat ekstrem, yakni lebih dari 20 kali lipat dari batas maksimal yang diizinkan (10 mg/L). Konsentrasi amonia yang sangat pekat ini menjadi tantangan utama dalam sistem pengolahan karena sifatnya yang toksik bagi biota air. Selain itu, kadar Total Phosphate sebesar 29 mg/L juga tergolong tinggi jika merujuk pada standar baku mutu sungai kelas 3, yang mensyaratkan batas maksimal hanya 1 mg/L untuk mencegah terjadinya eutrofikasi.

Di sisi lain terdapat beberapa parameter yang menunjukkan kondisi cukup stabil. Nilai pH air limbah berada pada angka 7,02 (netral), yang merupakan kondisi optimal bagi pertumbuhan mikroorganisme dalam proses pengolahan biologi nantinya. Begitu pula dengan TDS (480 mg/L) dan Total Nitrogen (12 mg/L) yang terpantau masih berada di bawah ambang batas toleransi lingkungan. Dikarenakan masih ada yang belum memenuhi atau yang melewati ambang batas yang telah ditetapkan, maka dilakukan pengolahan agar parameter tersebut dapat memenuhi baku mutu yang telah ditetapkan.

#### A. Hasil Uji SBR

Tahap pengolahan biologis menggunakan sistem *Sequencing Batch Reactor* (SBR) dilakukan untuk mereduksi beban pencemar utama pada influen. Hasil uji menunjukkan adanya korelasi positif antara waktu tinggal (HRT) dan penurunan konsentrasi polutan. Sistem SBR terbukti efektif dalam mendegradasi zat organik, ditunjukkan dengan penurunan BOD<sub>5</sub> dari 151,04 mg/L menjadi 17 mg/L dan COD dari 188,8 mg/L menjadi 20,99 mg/L pada HRT 36 jam. Penurunan ini mengindikasikan bahwa mikroorganisme memiliki waktu yang cukup untuk me-metabolisme bahan organik menjadi senyawa yang lebih stabil. Pada parameter TSS, terjadi penurunan dari 208 mg/L menjadi 50 mg/L.

Meskipun signifikan, masih adanya padatan tersisa menunjukkan perlunya pengolahan lanjutan seperti filtrasi atau adsorpsi untuk meningkatkan kejernihan efluen. Penyisihan nutrien juga menunjukkan hasil yang sangat baik. Konsentrasi amonia menurun drastis dari 204 mg/L menjadi 0,65 mg/L, yang menunjukkan proses nitrifikasi berjalan optimal. Total fosfat juga mengalami penurunan dari 29 mg/L menjadi 1,40 mg/L, menandakan terjadinya proses biological phosphorus removal secara efektif. Secara keseluruhan, HRT 36 jam merupakan kondisi paling optimal dibandingkan variasi lainnya. Semakin lama waktu tinggal, semakin besar kesempatan mikroorganisme untuk mendegradasi dan menyerap polutan secara maksimal [8]. Hasil pengolahan SBR ini memberikan kualitas efluen yang lebih baik dan menjadi tahap awal yang efektif sebelum proses adsorpsi dan ultrafiltrasi.

**Tabel 2.** Hasil Uji Pengolahan SBR

Ket	Parameter	Influent (mg/L)	SBR (mg/L)			Baku mutu Air limbah Domestik (mg/L) (Permen LHK No. 68 Tahun 2016)	Baku mutu sungai kelas 3 (mg/L) (PP No.22 thn 2021)
			12 jam	24 jam	36 jam		
HRT							
	BOD <sub>5</sub>	151.04	21.5	19.5	17	30	6
	COD	188.8	26.24	23.61	20.99	100	40
	TSS	208	100	80	50	30	100
	Amonia	204	4.95	2.62	0.65	10	0,5
	Total Phosphate	29	3.9	2.3	1.40		1

Sumber : Hasil Pengujian (2025)

### B. Hasil Uji Adsorpsi dan Ultrafiltrasi

Tahap pengolahan adsorpsi merupakan upaya untuk meningkatkan kualitas efluen dari unit SBR. Dengan menggunakan dua jenis adsorben alami, yaitu Kulit Singkong dan Bonggol Jagung, proses ini bertujuan untuk menangkap sisa-sisa polutan yang masih lolos pada tahap pengolahan biologi. Secara umum, hasil pengujian menunjukkan bahwa metode adsorpsi mampu menghasilkan kualitas air yang jauh lebih bersih, bahkan melampaui standar baku mutu.

**Tabel 3.** Hasil Uji Pengolahan Adsorpsi dan Ultrafiltrasi

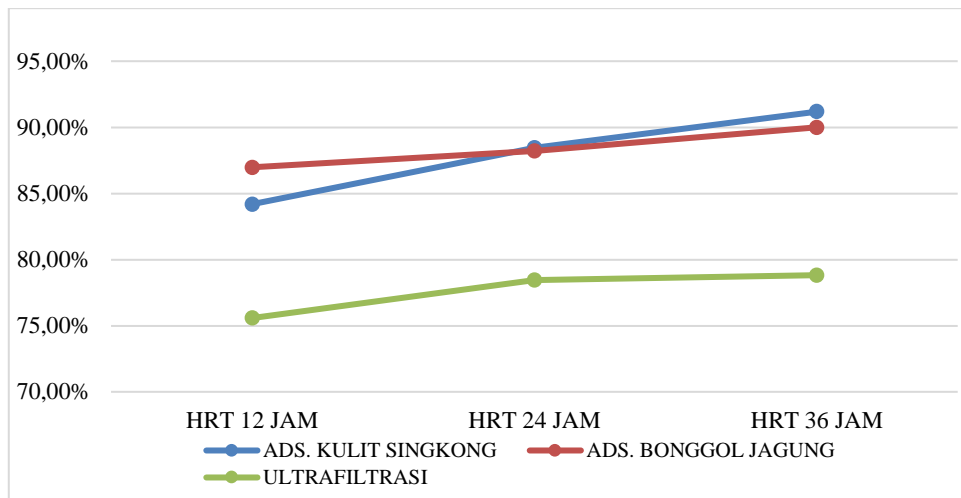
Ket	Parameter	Ultrafiltrasi (mg/L)			Adsorpsi (mg/L)						Baku mutu Air limbah Domestik (mg/L) (Permen LHK No. 68 Tahun 2016)	Baku mutu sungai kelas 3 (mg/L) (PP No.22 thn 2021)
					Kulit Singkong			Bonggol Jagung				
Jenis Adsorben												
HRT SBR		12 jam	24 jam	36 jam	12 jam	24 jam	36 jam	12 jam	24 jam	36 jam		
	BOD <sub>5</sub>	5.25	4.2	3.6	3.4	2.25	1.5	2.8	2.3	1.7	30	6
	COD	12.60	10.30	7.68	8.93	7.05	5.49	7.99	6.36	4.24	100	40
	TSS	20	10	10	30	20	20	30	20	10	30	100
	Amonia	1.4	0.34	0.23	0.46	0.21	0.14	0.48	0.39	0.18	10	0,5
	Total Phosphate	0.95	0.92	0.89	0.60	0.56	0.41	0.75	0.47	0.34		1

### C. Efisiensi BOD<sub>5</sub> Adsorpsi Dan Ultrafiltrasi

*Biochemical Oxygen Demand* (BOD) merupakan parameter penting dalam menilai tingkat pencemaran organik dalam air limbah. BOD menunjukkan jumlah oksigen yang dibutuhkan oleh mikroorganisme untuk menguraikan bahan organik secara biologis dalam kondisi aerob [9]. Nilai BOD yang tinggi pada limbah domestik menunjukkan tingginya kandungan bahan organik biodegradable yang berasal dari aktivitas rumah tangga, sehingga diperlukan proses pengolahan biologis yang efektif sebelum dibuang ke lingkungan [10].

Berdasarkan hasil perhitungan, efisiensi penyisihan BOD pada unit ultrafiltrasi berada pada kisaran 75–79%, yang menunjukkan bahwa proses membran cukup efektif dalam menyisihkan bahan organik, terutama yang berbentuk partikel dan koloid. Setelah dilakukan pengolahan menggunakan adsorben, terjadi peningkatan efisiensi removal yang signifikan. Pada adsorben kulit singkong, efisiensi meningkat hingga 84–91%, sedangkan pada bonggol jagung berada pada kisaran 86–90%. Hal ini menunjukkan bahwa kedua jenis adsorben mampu menyerap sisa bahan organik yang tidak dapat dipisahkan oleh proses ultrafiltrasi. Jika dibandingkan, kulit singkong menunjukkan performa terbaik dengan efisiensi tertinggi hingga 91,18%, yang mengindikasikan bahwa adsorben ini memiliki luas permukaan dan gugus fungsi aktif yang lebih efektif dalam mengikat senyawa organik. Sementara itu, bonggol jagung juga menunjukkan kinerja yang tinggi, namun sedikit lebih rendah dibandingkan kulit singkong pada beberapa kondisi. Selain itu, terlihat

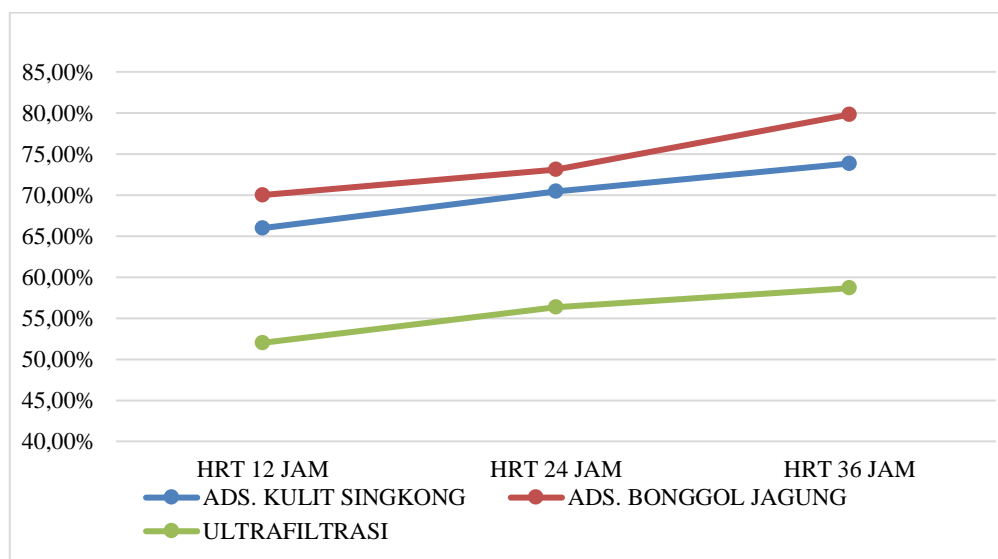
bahwa efisiensi removal meningkat seiring penurunan konsentrasi awal, yang menunjukkan bahwa kombinasi proses ultrafiltrasi dan adsorpsi mampu mengoptimalkan penyisihan BOD secara bertahap.



Gambar 1. Grafik Perbandingan Persen Removal Parameter BOD<sub>5</sub>

#### D. Efisiensi COD Adsorpsi dan Ultrafiltrasi

*Chemical Oxygen Demand* (COD) merupakan parameter penting yang menunjukkan kandungan bahan organik dalam air limbah dan sering digunakan sebagai indikator tingkat pencemaran, baik pada limbah domestik maupun industri [11]. Tingginya konsentrasi COD dalam badan air penerima dapat memicu penurunan oksigen terlarut (*Dissolved Oxygen*) secara drastis, yang pada akhirnya mengganggu metabolisme organisme akuatik dan menurunkan daya dukung lingkungan perairan [12]. Maka dari itu harus adanya perlakuan atau pengolahan agar parameter dapat sesuai dengan ambang yang ditentukan.

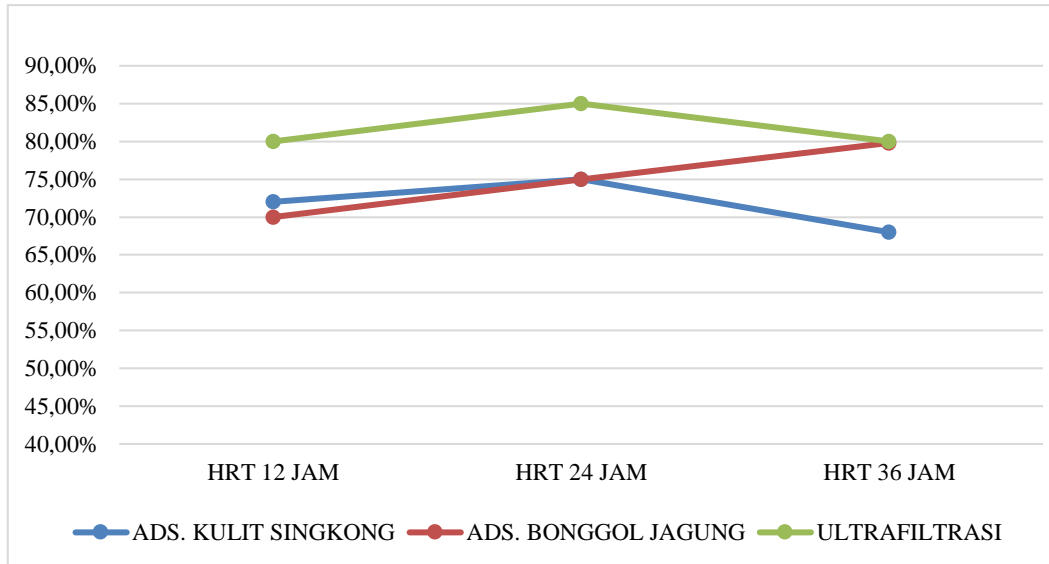


Gambar 2. Grafik Perbandingan Persen Removal Parameter COD

Berdasarkan hasil perhitungan, efisiensi penyisihan COD pada metode ultrafiltrasi berada pada kisaran 52–63%. Hal ini menunjukkan bahwa ultrafiltrasi cukup efektif dalam menyisihkan senyawa organik berbentuk partikel dan koloid, namun kurang optimal dalam menghilangkan senyawa organik terlarut. Sementara itu, metode adsorpsi menunjukkan kinerja yang lebih tinggi dibandingkan ultrafiltrasi. Pada adsorben kulit singkong, efisiensi penyisihan berada pada kisaran 66–74%, sedangkan pada bonggol jagung mencapai 70–80%. Perbedaan ini menunjukkan bahwa adsorpsi lebih efektif dalam menyisihkan senyawa organik terlarut penyumbang COD, karena proses ini tidak hanya bergantung pada ukuran partikel seperti pada membran, tetapi juga melibatkan interaksi kimia dan fisika antara adsorben dan polutan. Jika dibandingkan, bonggol jagung menunjukkan performa terbaik, dengan efisiensi tertinggi mencapai hampir 80%, diikuti oleh kulit singkong, sedangkan ultrafiltrasi memiliki efisiensi paling rendah di antara ketiga metode.

### E. Efisiensi TSS Adsorpsi dan Ultrafiltrasi

*Total Suspended Solids* (TSS) merupakan parameter yang menunjukkan jumlah padatan tersuspensi dalam air limbah, baik berupa partikel organik maupun anorganik. Konsentrasi TSS yang tinggi dapat menyebabkan kekeruhan air serta menghambat penetrasi cahaya di badan air [13]. TSS pada limbah domestik umumnya berasal dari partikel sisa makanan, lumpur, dan bahan padat lainnya, sehingga diperlukan pengolahan yang efektif untuk menurunkannya.



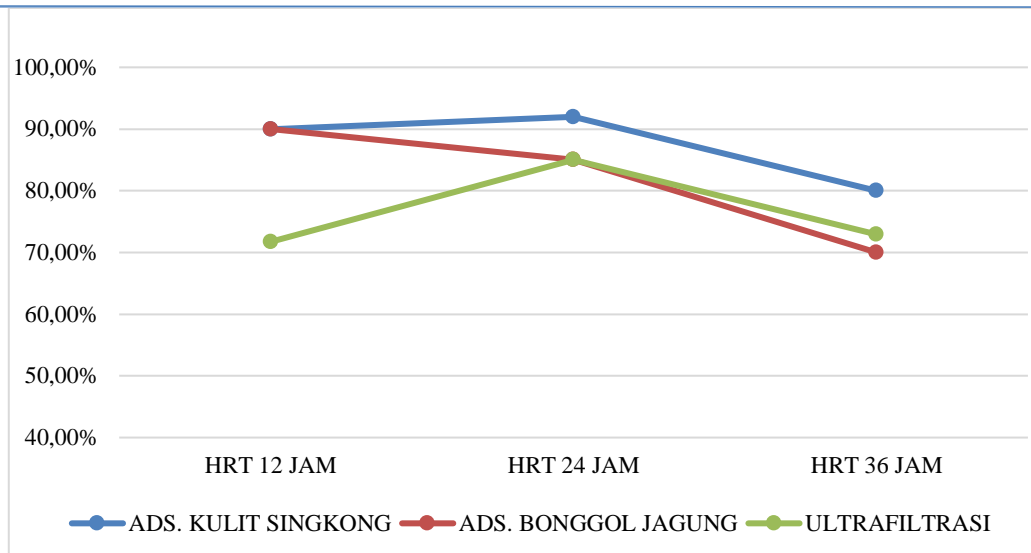
**Gambar 3.** Grafik Perbandingan Persen Removal Parameter TSS

Pada proses pengarangan, masih terdapat kemungkinan partikel abu arang berukuran halus yang lolos dari proses penyaringan, sehingga menyebabkan penurunan kadar TSS menjadi kurang optimal. Seiring bertambahnya waktu, partikel halus tersebut dapat terbawa bersama aliran dan lolos dari media penyaring, yang berpotensi meningkatkan nilai TSS pada efluen. Meskipun demikian, konsentrasi TSS yang dihasilkan masih berada dalam batas baku mutu. Hal ini ditunjukkan oleh kondisi air hasil pengolahan yang tetap jernih, sehingga dapat disimpulkan bahwa proses pengarangan yang dilakukan relatif bersih dan tidak menghasilkan banyak sisa abu yang lolos ke dalam efluen.

Berdasarkan hasil perhitungan, efisiensi penyisihan menunjukkan perbedaan kinerja pada masing-masing metode pengolahan. Metode ultrafiltrasi menghasilkan efisiensi removal yang relatif tinggi dan stabil, yaitu berkisar antara 80–87,5%. Hal ini menunjukkan bahwa proses membran sangat efektif dalam menyisihkan parameter yang dominan berbentuk partikel dan padatan tersuspensi. Sementara itu, metode adsorpsi menggunakan kulit singkong menunjukkan efisiensi yang lebih rendah, yaitu berada pada kisaran 60–75%. Hal ini mengindikasikan bahwa kemampuan adsorben kulit singkong dalam menyisihkan parameter ini masih terbatas. Pada metode adsorpsi menggunakan bonggol jagung, efisiensi removal berada pada kisaran 70–80%, yang menunjukkan kinerja yang lebih baik dibandingkan kulit singkong, namun masih sedikit di bawah ultrafiltrasi pada beberapa kondisi. Hal ini menunjukkan bahwa bonggol jagung memiliki kemampuan adsorpsi yang cukup baik. Secara keseluruhan, metode ultrafiltrasi memberikan kinerja terbaik, diikuti oleh bonggol jagung, dan terakhir kulit singkong. Perbedaan efisiensi ini menunjukkan bahwa mekanisme pemisahan membran lebih unggul dalam menyisihkan parameter berbasis padatan, sedangkan adsorpsi lebih bergantung pada karakteristik material adsorben yang digunakan.

### F. Efisiensi Amonia Adsorpsi dan Ultrafiltrasi

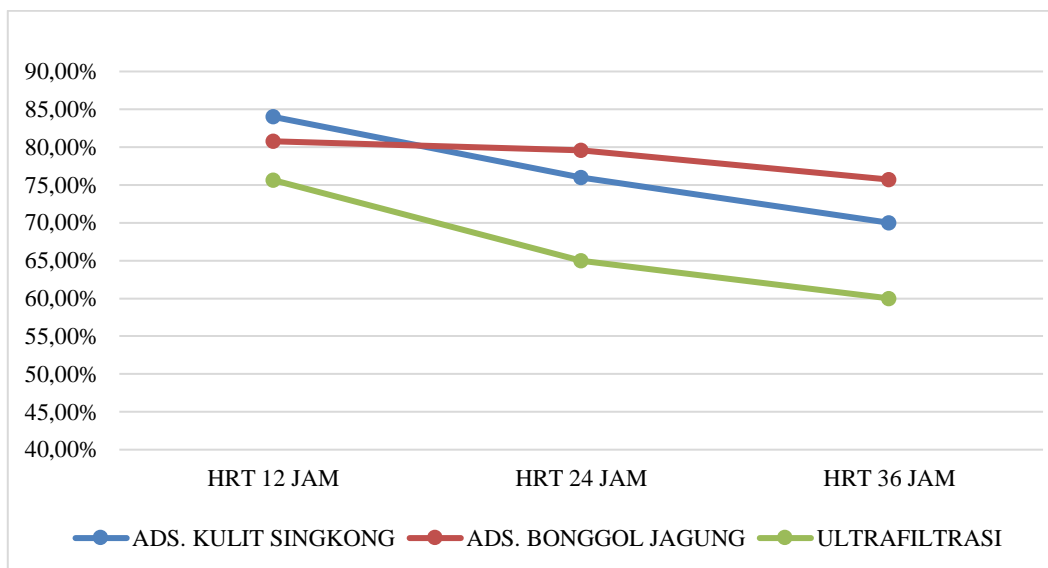
Amonia merupakan senyawa nitrogen hasil dekomposisi bahan organik yang bersifat toksik bagi perairan. Penyisihan amonia terjadi melalui proses nitrifikasi oleh bakteri aerob dan efisiensinya dipengaruhi oleh waktu tinggal serta kondisi operasional reaktor [14][15].



**Gambar 4.** Grafik Perbandingan Persen Removal Parameter Amonia

### G. Efisiensi Total Phosphate Adsorpsi dan Ultrafiltrasi

Total fosfat merupakan parameter yang menunjukkan kandungan fosfor dalam air limbah yang berasal dari deterjen dan bahan organik rumah tangga. Konsentrasi fosfat yang tinggi dapat menyebabkan eutrofikasi, yaitu pertumbuhan alga yang berlebihan di perairan [16]. Penyisihan fosfat dapat dilakukan melalui proses biologis maupun adsorpsi, di mana mikroorganisme atau media adsorben berperan dalam mengikat fosfat [17].



**Gambar 5.** Grafik Perbandingan Persen Removal Parameter Total Phosphate

Berdasarkan hasil perhitungan, metode adsorpsi menunjukkan kinerja yang lebih baik dibandingkan ultrafiltrasi dalam menyisihkan parameter ini. Pada adsorben kulit singkong, efisiensi penyisihan berada pada kisaran 70–85%, sedangkan bonggol jagung menunjukkan efisiensi yang sedikit lebih tinggi dan lebih stabil, yaitu 75–80%. Hal ini menunjukkan bahwa kedua adsorben memiliki kemampuan yang baik dalam menghilangkan senyawa terlarut, dengan bonggol jagung cenderung lebih konsisten pada berbagai kondisi. Sebaliknya, ultrafiltrasi menunjukkan efisiensi yang lebih rendah dan cenderung menurun pada konsentrasi awal yang lebih kecil, yaitu dari 75.64% menjadi 60%. Hal ini mengindikasikan bahwa ultrafiltrasi kurang efektif dalam menyisihkan senyawa yang benar-benar terlarut, karena mekanismenya hanya berdasarkan penyaringan ukuran partikel.

#### 4. Kesimpulan

Sistem SBR berhasil memangkas sebagian besar kandungan organik dan nutrisi, terutama amonia yang awalnya sangat tinggi, hingga turun drastis. Setelah itu, tahap adsorpsi dan ultrafiltrasi menyempurnakan hasilnya. Di bagian adsorpsi, penggunaan kulit singkong dan bonggol jagung terbukti bukan cuma sekadar bahan alami biasa, tapi memang punya kemampuan fisik dan kimia untuk mengikat sisa polutan. Kulit singkong lebih baik menurunkan nilai BOD, sementara bonggol jagung lebih baik dalam menyangrat padatan (TSS) dan fosfat.

Sementara itu, penggunaan membran ultrafiltrasi di tahap akhir memberikan hasil yang paling stabil, kadar TSS pun konsisten di angka yang rendah. Satu hal penting yang konsisten terlihat di semua pengujian adalah pengaruh waktu tinggal (HRT). Semakin lama air limbah diproses dalam hal ini HRT 36 jam hasilnya selalu jauh lebih baik. Hal ini wajar karena mikroorganisme punya waktu lebih lama untuk bekerja, dan media filter pun punya kesempatan lebih banyak untuk menyerap polutan.

Seluruh parameter akhir dari semua unit pengolahan ini sudah melewati standar Baku Mutu Air Limbah Domestik PermenLHK No.68 Tahun 2016 dan PP No. 22 Tahun 2021, bahkan masuk kriteria Baku Mutu Sungai Kelas 3. Artinya, sistem pengolahan ini sangat aman dan layak digunakan untuk memastikan air limbah yang kita buang tidak lagi merusak ekosistem sungai.

#### 5. Daftar Pustaka

- [1] Metcalf & Eddy, *Wastewater Engineering: Treatment and Resource Recovery*, 5th ed. New York: McGraw-Hill, 2014.
- [2] N. Hendrasarie, "Pengolahan Limbah Domestik Menggunakan *Sequencing Batch Reactor* (SBR)," *Jurnal Envirotek*, vol. 11, no. 1, pp. 1–8, 2019.
- [3] D. Widyaningrum dan A. Suryanto, "Pemanfaatan kulit singkong sebagai adsorben untuk menurunkan kadar pencemar dalam air limbah," *Jurnal Lingkungan*, vol. 11, no. 1, pp. 23–30, 2015.
- [4] N. Hendrasarie, "Efektivitas Penambahan Serabut Kelapa dan Kulit Buah Siwalan sebagai Adsorben dan Media Lekat Biofilm pada Pengolahan Limbah Domestik menggunakan *Sequencing Batch Reactor* (SBR)," *Jurnal Envirotek*, vol. 13, no. 2, pp. 66–72, 2021.
- [5] R. Ardianto, H. Hadiyanto, dan F. Hemawan, "Sistem pengolahan air limbah hybrid (koagulasi, MBBR, elektrokoagulasi dan ultrafiltrasi) dalam pemenuhan baku mutu air limbah," *Jurnal Profesi Insinyur Indonesia*, vol. 2, no. 6, pp. 379–387, 2024.
- [6] Pemerintah Republik Indonesia, *Peraturan Pemerintah Nomor 22 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup*, Jakarta, 2021
- [7] Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan, *Peraturan Menteri LHK Nomor P.68/Menlhk/Setjen/Kum.1/8/2016 tentang Baku Mutu Air Limbah Domestik*, Jakarta, 2016.
- [8] N. Hendrasarie, "Kajian Penurunan Kandungan BOD, COD, dan TSS dengan Menggunakan Biofilter Penambahan Media," *Jurnal Teknik Lingkungan*, vol. 6, no. 3, pp. 225-235, 2005.
- [9] R. Kumar and A. Kumar, "Biochemical Oxygen Demand," in *Encyclopedia of Analytical Science*, Elsevier, 2005.
- [10] N. Hendrasarie, *Mengolah Limbah Cair Domestik di Lahan Sempit: Penggunaan Teknologi Sequencing Batch Reactor*. Surabaya: CV. Putra Media Nusantara (PMN), 2021.
- [11] N. Hendrasarie, M. Y. C. Nugraha, and K. Fadilah, "Restaurant wastewater treatment with a two-chamber septic tank and a sequencing batch reactor," *E3S Web of Conferences*, vol. 328, 2021.
- [12] E. W. Rice, R. B. Baird, and A. D. Eaton, Eds., *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, 23rd ed. Washington, DC, USA: American Public Health Association (APHA), 2017.
- [13] S. Tchobanoglous, F. L. Burton, and H. D. Stensel, *Wastewater Engineering: Treatment and Reuse*, 4th ed. New York: McGraw-Hill, 2003.
- [14] L. Wang, X. Li, and H. Chen, "Ammonia removal performance in aerobic biological treatment systems," *Journal of Environmental Management*, vol. 285, 2021.
- [15] J. Huang, Y. Liu, and S. Zhang, "Effect of hydraulic retention time on nitrogen removal in biological wastewater treatment," *Bioresour. Technol.*, vol. 274, pp. 1–8, 2019.
- [16] S. R. Spellman, *Panduan Operasi Instalasi Pengolahan Air dan Air Limbah*, ed. ke-3. Boca Raton: CRC Press, 2013.
- [17] I. W. Almanassra, V. Kochkodan, G. McKay, M. A. Atieh, and T. Al-Ansari, "Review of phosphate removal from water by carbonaceous sorbents," *Journal of Environmental Management*, vol. 287, 112245, 2021.