

## Pengaruh Perbedaan Ketebalan Media Filtrasi Pasir Sungai dan Arang Sekam Padi pada Penurunan Fosfat Air Limbah

Alferina Vania Widya Calista<sup>1</sup>, Ririn Endah Badriani<sup>1\*</sup>, Cantika Almas Fildzah<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Program Studi Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Universitas Jember

Jl. Kalimantan Tegalboto No 37 Krajan Timur Sumbersari Jember 68121 Jawa Timur

[\\*ririn.teknik@unej.ac.id](mailto:ririn.teknik@unej.ac.id)

DOI: <https://doi.org/10.21107/rekayasa.v17i1.21677>

Submitted July, 30<sup>th</sup> 2023; Accepted February, 19<sup>th</sup> 2024; Published April 15<sup>th</sup>, 2024

### Abstrak

Efluen IPAL pada Rumah Sakit Daerah (RSD) dr. Soebandi belum memenuhi baku mutu kadar fosfat yaitu 3 mg/L. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui efisiensi penurunan kadar fosfat dan mengetahui pengaruh variasi ketebalan media filtrasi dalam penurunan kadar fosfat air limbah rumah sakit. Metode penelitian menggunakan sistem *Slow Sand Filter Sandwich* dengan beberapa variabel. Variabel bebas penelitian ini mencakup ketebalan media dan waktu kontak. Perbandingan ketebalan media arang sekam padi dan pasir sungai yang digunakan yaitu (R1) 25:5 cm, (R2) 22,5:7,5 cm, (R3) 20:10 cm, (R4) 17,5:12,5 cm dan (R5) 0:0 cm. Variasi waktu yang digunakan yaitu 120 dan 180 menit. Efisiensi terendah dan tertinggi terdapat pada reaktor 1 (R1) pada waktu kontak 120 menit sebesar 0% dan reaktor 4 (R4) pada waktu kontak 180 menit sebesar 53%. Nilai p-value pada ketebalan arang sekam padi, pasir sungai dan waktu kontak <0,05 sehingga berpengaruh signifikan terhadap penurunan kadar. Uji *t-test* menunjukkan beda signifikan (*p-value* < 0,05) yaitu reaktor 1 & 4, reaktor 1 & 5, reaktor 2 & 4, dan reaktor 2 & 5.

**Kata Kunci:** efisiensi penurunan, saringan pasir lambat, uji regresi linear, uji t-test, waktu kontak

### Abstract

*WWTP Effluent at Regional Hospital (RSD) dr. Soebandi has not fulfilled quality standard of phosphate which is 3 mg/L. This study aims to determine the efficiency of removal phosphate levels and to determine the effect of variations in the thickness of the filtration media reducing phosphate levels in wastewater from hospital wastewater. Method in this research used a Slow Sand Filter Sandwich system with several variables. The thickness ratio of rice husk charcoal and river sand were (R1) 25:5 cm, (R2) 22,5:7,5 cm, (R3) 20:10 cm, (R4) 17,5:12,5 cm and (R5) 0:0 cm. Variations of time used were 120 and 180 minutes. The lowest and highest efficiency was found in reactor 1 (R1) with 120 minutes for contact time at 0% and reactor 4 (R4) with 180 minutes for contact time by 53%. P-value of rice husk charcoal, river sand and contact time is <0,05 that means it have a significant effect on phosphate concentration reduction. T-test result showed significant differences (*p-value* <0,05), reactors 1 & 4, reactors 1 & 5, reactors 2 & 4, and reactors 2 & 5.*

**Key words:** removal efficiency, slow sand filter, linear regression test, t-test, contact time

## PENDAHULUAN

Efluen IPAL pada Rumah Sakit Daerah (RSD) dr. Soebandi memiliki kadar fosfat yang belum memenuhi baku mutu. Hasil data kadar fosfat pada efluen IPAL yang ditemukan berdasarkan penelitian pendahuluan yaitu 3 mg/L. Hal tersebut tidak sesuai dengan baku mutu air limbah fosfat yaitu 2 mg/L berdasarkan Peraturan Gubernur Jawa Timur Nomor 72 Tahun 2013 tentang Baku Mutu Air Limbah Bagi Usaha dan/atau Kegiatan Rumah Sakit. Fosfat merupakan bahan utama pada pembuatan deterjen. Air limbah rumah sakit dengan kadar fosfat yang tinggi berpotensi menimbulkan masalah lingkungan seperti eutrofikasi. Eutrofikasi merupakan suatu keadaan ketika jumlah kadar fosfat pada badan air tinggi sehingga pertumbuhan algae meningkat secara pesat (bloom) dengan potensi warna air berubah kehijauan, berbau dan kadar meningkatkan kekeruhan. Pengolahan harus dilakukan pada air limbah dengan kadar fosfat yang tinggi sebelum dibuang ke badan air untuk meminimalisir potensi eutrofikasi (Fitriatin et al., 2009).

Salah satu pengolahan air yang bisa dipakai dalam menurunkan kadar fosfat yaitu penggunaan metode sistem filtrasi. Filtrasi sebagai proses dalam memisahkan padatan dan cairan melalui media penyaring yang biasa disebut filter. Filtrasi merupakan pengolahan dengan mekanisme proses pemisahan zat padat dari fluida melalui pemanfaatan media dengan pori-pori untuk menyisihkan koloid, material tersuspensi dan atau zat-zat yang terdapat pada air limbah (Selfia et al., 2022). Secara umum terdapat dua jenis proses filtrasi yang sering ditemui, dengan penyaringan lambat atau penyaringan

cepat (Ristiyanto, 2020). Media filter kombinasi dari beberapa media seperti pasir, kerikil, ijuk, karbon aktif dan batu. Fungsi media yang dipakai adalah menghilangkan zat tersuspensi dan koloid di dalam air limbah (Said, 2006). Pengolahan air yang menggunakan filtrasi umumnya menggunakan media yang dapat menyaring zat pencemar, salah satunya pasir sungai dan arang sekam padi.

Pasir adalah zat granular. Partikel dalam pasir biasanya berdiameter antara 0,0625 dan 2 mm. Substansi yang menyusun pasir adalah silika, tetapi pada beberapa pantai umumnya berasal dari batu gamping. Pasir memiliki warna tergantung dari asal pembentukannya (Qomaruddin, 2018). Pasir sungai adalah pasir hasil tambang dan penambangan di sungai. Pengendapan butiran batuan diakibatkan sungai yang curam mengalir deras dengan variasi pada jarak tertentu. Ukuran partikel tidak besar dan batunya cukup bersih. Perbedaan ukuran butiran tidak banyak berbeda antar lokasi dan sebagian besar partikel cukup bulat pada sungai yang landai. Faktor-faktor yang mendukung penggunaan pasir sungai sebagai media filtrasi yakni ketersediaan dalam jumlah besar serta harga yang cukup murah (Setyoprato et al., 2022). Kabupaten Jember sendiri memiliki empat sungai besar yaitu Bedadung, Mayang, Mrawan, dan Tanggul dengan panjang masing-masing yaitu 48,75; 46,50; 33,50; dan 51,19 km (Dinas Pekerjaan Umum Pengairan Jawa Timur, 2015). Banyaknya sungai besar menjadikan Jember berpotensi menghasilkan pasir sungai yang mudah dijangkau. Pasir sungai merupakan salah satu media yang mengandung silika. Pasir sungai memiliki kandungan silika sebesar 40,7% (Anamila, 2022). Jika dibandingkan dengan pasir silika, pasir silika memiliki kandungan silika sebesar 90% (Dewa & Pasaribu, 2020). Silika memiliki peran aktif dalam menurunkan zat pencemar dalam air. Filtrasi dengan menggunakan silika dapat melakukan penurunan pada kadar fosfat dari 6 mg/L menjadi 1 mg/L, dengan efisiensi penurunan sebesar 83,3% (Palilingan et al., 2019).

Padi (*Oryza sativa L.*) yaitu salah satu tanaman pangan paling pokok di Indonesia. Luas panen 13.445.524 Ha pada produksi padi Indonesia menghasilkan 71,29 juta ton GKG (gabah kering giling) pada tahun 2013. Peningkatan pertumbuhan penduduk Indonesia sebesar 1,36% per tahun dengan konsumsi beras hingga 130 kg per kapita pada tahun 2013. Kebutuhan beras nasional berpotensi hingga 43 juta ton atau sama dengan 76 juta ton GKG pada 2035 (Rivaldi, 2015). Produksi padi di Jember pada sebesar 615,70 ribu ton GKG tahun 2021. Hal tersebut menunjukkan peningkatan sebesar 4,31 persen atau 25,43 ribu ton GKG sedangkan di tahun 2020 hanya sebesar 590,26 ribu ton GKG (BPS, 2022). Produksi padi di Indonesia khususnya Jember ini menjadikan potensi limbah sekam padi juga semakin meningkat. Arang sekam padi merupakan hasil olah dari limbah sekam padi. Arang sekam padi memiliki kandungan silika dalam menurunkan zat pencemar. Kandungan silika pada sekam padi sebesar 86,90% hingga 90,37% (Handayani, 2009). Sekam padi yang dibentuk dalam arang dapat meningkatkan kemampuan adsorpsi terhadap zat pencemar. Abu sekam padi berasal dari pembakaran sekam padi memiliki kandungan silika amorf, memiliki kadar 85-90% silika dan 10-15% karbon (Pamilia, 2008). Filtrasi menggunakan arang sekam padi dan arang tempurung kelapa menunjukkan penurunan fosfat hingga 98% (Yatule, 2016). Penggunaan arang sekam padi dalam proses filtrasi menunjukkan penurunan terhadap BOD dari 232,78 mg/L menjadi 25,26 mg/L; TSS dari 118 mg/L menjadi 11 mg/L; minyak dan lemak dari 10 mg/L menjadi 8 mg/L (Garmini & Zairinayati, 2022).

Penelitian dilakukan untuk menganalisis pengaruh ketebalan media filtrasi dan waktu kontak dalam menurunkan kadar fosfat pada air limbah rumah sakit dan efisiensi penurunannya. Keterbaruan pada penelitian yang dilakukan jika dibandingkan dengan penelitian terdahulu yaitu pada media filtrasi yang digunakan menggunakan arang sekam padi yang belum teraktivasi dan menggunakan pasir sungai. Filtrasi yang digunakan menerapkan sistem gravitasi-kontinu karena mudah dalam penerapannya. Kualitas efluen setelah proses filtrasi diharapkan dalam mencapai baku mutu yang digunakan sehingga bisa menjadi alternatif pengolahan air limbah bagi rumah sakit.

## METODE PENELITIAN

### Lokasi Penelitian

Pengambilan air sampel dan penelitian dilakukan di Rumah Sakit Daerah dr. Soebandi Kecamatan Patrang, Kabupaten Jember, Jawa Timur. Pengambilan air sampel dilakukan pada efluen air limbah IPAL yang terdapat di rumah sakit. Pengambilan sampel dilakukan pada saat jam kerja rumah sakit yaitu jam sembilan pagi karena pada saat tersebut air limbah laundry masuk dalam proses pengolahan IPAL.

Pemilihan waktu tersebut juga dikarenakan asumsi pada jam sembilan pagi sebagai waktu puncak saat kandungan fosfat tertinggi pada efluen yang dihasilkan. Pengujian kadar fosfat dilakukan di Laboratorium Kesehatan Daerah Kabupaten Lumajang, Jawa Timur. Sampel air yang akan diujikan disimpan sesuai rekomendasi laboratorium terkait seperti pemilihan wadah dan penambahan zat kimia untuk menjaga kualitas sampel air agar tidak berubah.

**Variabel Penelitian**

Variabel penelitian mencakup tiga kelompok yaitu variabel bebas, terikat dan terkontrol. Variabel bebas penelitian ini mencakup ketebalan media dan waktu tunggu. Variabel terikat yaitu kadar fosfat. Variabel kontrol yaitu jenis dan ukuran media, ukuran pipa paralon, spons & batu-batuan.

**Rancangan Penelitian**

Pada penelitian ini variasi yang dipakai yaitu perbandingan ketebalan media arang sekam padi dan pasir sungai serta variasi pada waktu yang dibutuhkan. Perbandingan komposisi yang digunakan yaitu 25:5 cm, 22,5:7,5 cm, 20:10 cm, 17,5:12,5 cm dan 0:0 cm. Ketebalan media yang digunakan pada penelitian sebelumnya yaitu antara 10 hingga 15 cm (Artiyani & Firmansyah, 2016); 10 hingga 25 cm (Selfia et al., 2022); 3 hingga 20 cm (Li et al., 2019). Perbedaan ketebalan media pada penelitian ini untuk mengetahui perbedaan efektivitas media dalam penurunan fosfat. Variasi waktu yang digunakan yaitu 120 dan 180 menit. Pemilihan variasi waktu kontak berdasarkan penelitian sebelumnya yaitu 47 hingga 110 menit (Selfia, 2022); 1 hingga 240 menit (Sooksawat et al., 2021); 60 hingga 120 menit (Suharto et al., 2020). Perbedaan waktu kontak untuk mengetahui pengaruh lamanya waktu kontak dalam menurunkan kadar fosfat. Rancangan penelitian terdapat pada Tabel 2.

Tabel 2 Rancangan Penelitian

Waktu Kontak (H)/Pengulangan (P)	Tinggi Media (T)				
	Reaktor 1	Reaktor 2	Reaktor 3	Reaktor 4	Reaktor 5
	25 : 5 (T1)	22,5 : 7,5 (T2)	20 : 10 (T3)	17,5 : 12,5 (T4)	0 : 0 (T5)
120 menit (H2 P1)	H2 P1 T1	H2 P1 T2	H2 P1 T3	H2 P1 T4	H2 P1 T5
Pengulangan 2 (H2 P2)	H2 P2 T1	H2 P2 T2	H2 P2 T3	H2 P2 T4	H2 P2 T5
Pengulangan 3 (H2 P3)	H2 P3 T1	H2 P3 T2	H2 P3 T3	H2 P3 T4	H2 P3 T5
180 menit (H3 P1)	H3 P1 T1	H3 P1 T2	H3 P1 T3	H3 P1 T3	H3 P1 T3
Pengulangan 2 (H3 P2)	H3 P2 T1	H3 P2 T2	H3 P2 T3	H3 P2 T3	H3 P2 T3
Pengulangan 3 (H3 P3)	H3 P3 T1	H3 P3 T2	H3 P3 T3	H3 P3 T3	H3 P3 T3

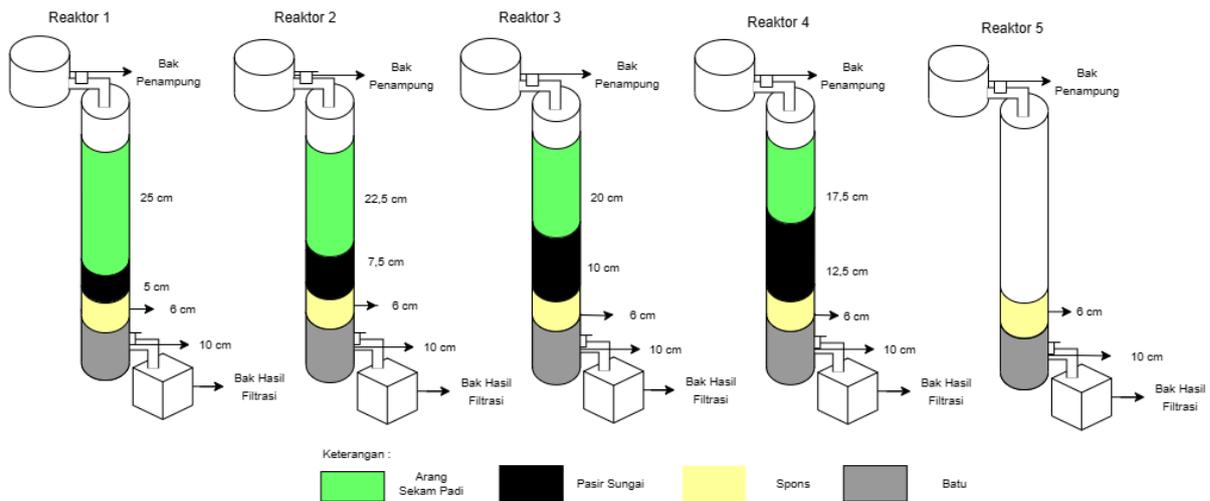
Keterangan : \*Reaktor 1 : 25 cm arang sekam padi; 5 cm pasir sungai, Reaktor 2 : 22,5 cm arang sekam padi; 7,5 cm pasir sungai, Reaktor 3 : 20 cm arang sekam padi; 10 cm pasir sungai, Reaktor 4 : 17,5 cm arang sekam padi; 12,5 cm pasir sungai, Reaktor 5 : 0 cm arang sekam padi; 0 cm pasir Sungai

**Alat dan Bahan Penelitian**

Bahan yang digunakan pada penelitian ini antara lain arang sekam padi 10 kg, pasir sungai 3 kg, air limbah rumah sakit sebanyak 25 liter, spons 10 cm, batu-batuan. Alat yang dibutuhkan yaitu pipa paralon berdiameter 3 inch dengan panjang 50 cm sebanyak 3 buah, dob pipa berdiameter 3/4 inch sebanyak 3 buah, toples plastik berukuran 5 liter sebanyak 6 buah, botol plastik untuk menampung hasil akhir air sebanyak 24 buah, kran plastik sebanyak 6 buah.

Ukuran alat filter dari atas hingga bawah yaitu tinggi 50 cm dan diameter 11,4 cm atau 4 inch. Peletakan media filter dari bawah yaitu batu, spons, pasir sungai dan arang sekam padi. *Slow Sand Filter Sandwich* (SSFS) merupakan suatu metode penyusunan antara dua atau lebih media filter dengan sistem saringan pasir lambat (Li et al., 2018). Lapisan arang, karbon, atau karbon aktif berfungsi sebagai adsorben dalam menghilangkan zat pencemar air limbah. Lapisan pasir sungai meminimalkan potensi partikel biologis ikut masuk dalam sistem filtrasi air dan sisa-sisa dari arang masuk ke dalam filtrat. Spons untuk mencegah sisa-sisa dari pasir atau arang masuk ke dalam filtrat. Batu-batuan untuk mengurangi

headloss, mengurangi penyumbatan dan memperpanjang masa pakai filter (Li et al., 2018). Desain rancangan reaktor terdapat pada Gambar 1.



**Gambar 1.** Rancangan Reaktor

### Analisis Data

Analisis data menggunakan perhitungan efisiensi penurunan parameter fosfat pada air limbah sebelum dan sesudah pengolahan. Efisiensi merupakan nilai yang memperlihatkan perbandingan antara nilai parameter input ke proses dan nilai yang diperoleh dari proses tersebut. Efisiensi dinyatakan dalam persen (%) dengan rumus berikut:

$$\text{Efisiensi (\%)} = \frac{C(in) - C(out)}{C(in)} \times 100 \% \dots\dots\dots (1)$$

$C(in)$  adalah jumlah kadar pencemar pada air limbah sebelum dilakukan pengolahan atau filtrasi, dan  $C(out)$  adalah jumlah kadar pencemar air limbah setelah dilakukan pengolahan atau filtrasi.

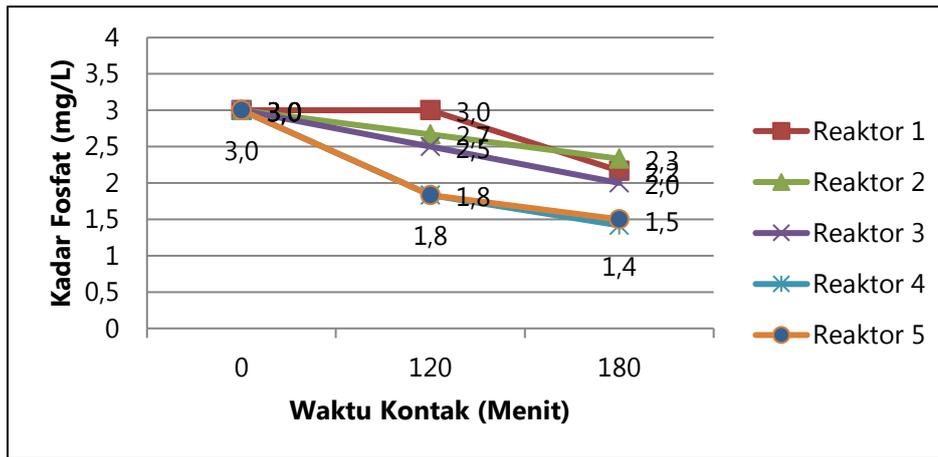
## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Analisis Kualitas Air Sampel

Analisis kualitas air sampel dilakukan sebelum percobaan. Hasil menunjukkan sampel air memiliki kadar fosfat sebesar 3 mg/L dan masih tidak memenuhi baku mutu air limbah yaitu 2 mg/L berdasarkan Peraturan Gubernur Jawa Timur Nomor 72 Tahun 2013 tentang Baku Mutu Air Limbah Bagi Usaha dan/atau Kegiatan Rumah Sakit. Kandungan fosfat dapat menimbulkan masalah lingkungan karena berkontribusi tinggi terhadap eutrofikasi pada badan air. Pengendalian fosfat yang dihasilkan dari instalasi pengolahan air limbah merupakan faktor kunci pada pencegahan eutrofikasi (Bali & Gueddari, 2019).

### Nilai Kadar Fosfat Setelah Proses Filtrasi

Pada Gambar 2 menunjukkan rata-rata kadar fosfat pada air sampel setelah dilakukan pengolahan. Hasil menunjukkan bahwa pada reaktor 1 mengalami penurunan dengan kadar efluen 2,2 mg/L dengan waktu kontak 180 menit. Pada reaktor 2 menunjukkan penurunan dengan kadar efluen 2,7 mg/L dan 2,3 mg/L pada waktu kontak 120 menit dan 180 menit. Penggunaan reaktor filtrasi dengan sekam padi pada variasi waktu 1 hingga 240 menit dapat menurunkan kadar fosfat rata-rata dari 10,88 mg/L menjadi 1,76 mg/L (Sooksawat et al., 2021). Hal tersebut dapat terjadi karena arang sekam padi mengandung 49% karbon. Karbon mempunyai jaringan berpori yang sangat luas dan bersifat fleksibel ukurannya untuk menyerap zat pencemar dengan ukuran molekul yang besar maupun kecil (Setyobudiarso & Yuwono, 2014).



**Gambar 2.** Kadar Akhir Fosfat Rata-Rata Pada Hasil Olahan Air

Pada reaktor 1 dengan waktu kontak 120 menit tidak mengalami penurunan. Hal tersebut tidak sesuai dengan penelitian sebelumnya yaitu pada waktu kontak 47 hingga 110 menit memiliki rata-rata penurunan dari 10,48 mg/L menjadi 2,72 mg/L (Selfia, 2022). Hal tersebut dapat terjadi karena pada sistem filtrasi memiliki tahapan mekanisme. Mekanisme tersebut yaitu penyaringan mekanis, sedimentasi, adsorpsi, aktivitas kimia dan aktivitas biologis (Ristiyanto, 2020). Pada waktu-waktu tersebut memungkinkan masih terjadi penyaringan mekanis pada zat padat, sedimentasi pada partikel tersuspensi atau penyerapan pada zat pencemar lainnya sehingga penyerapan fosfat masih belum maksimal. Zat pencemar di dalam air limbah meliputi senyawa organik seperti padatan tersuspensi ataupun terlarut, BOD, nutrisi, COD, senyawa beracun, mikroorganisme patogen dan partikel yang sulit terdegradasi (Metcalf & Eddy, 2003). Selain itu, ketebalan media mempengaruhi kadar fosfat pada efluen. Ketebalan media filter berpengaruh pada efektivitas filter. Media yang sangat tebal sangat efektif dalam memfilter, namun membutuhkan waktu yang lebih lama untuk menurunkan kadar zat pencemar (Pontiani et al., 2023).

Pada reaktor 3 dan 4 waktu kontak 180 menit menunjukkan penurunan kadar secara berturut-turut dari 2,5 mg/L ke 2,0 mg/L dan dari 1,8 mg/L ke 1,4 mg/L. Hal tersebut dikarenakan efek lanjutan oleh biofilm. Biofilm yang mengandung mikroorganisme membutuhkan nutrisi seperti fosfat untuk berkembang (Huseini et al., 2018). Sehingga kandungan fosfat pada air limbah mulai terdegradasi seiring dengan waktu kontak yang bertambah. Hal tersebut juga berkaitan dengan meningkatnya waktu kontak maka akan memperpanjang lama kontak antara aliran air dengan media filter, sehingga media filter dapat mengikat atau mengadsorpsi zat pencemar dengan lebih baik (Abbas, 2015). Pada reaktor 4 waktu kontak 180 menit menunjukkan hasil penurunan terbaik yaitu dengan kadar efluen sebesar 1,4 mg/L. Reaktor 4 mengandung pasir dengan jumlah paling banyak dibandingkan dengan reaktor lainnya yaitu 12,5 cm. Reaktor filtrasi menggunakan pasir dapat menurunkan kadar fosfat rata-rata dari 27 mg/L menjadi 9,98 mg/L (Bali & Gueddari, 2019).

**Tabel 3.** Efisiensi Penurunan Kadar Fosfat

Pengulangan	Reaktor 1		Reaktor 2		Reaktor 3		Reaktor 4		Reaktor 5	
	120 Menit	180 Menit								
Pengulangan 1	0%	50%	33%	0%	50%	33%	50%	75%	33%	50%
Pengulangan 2	0%	0%	0%	33%	0%	33%	33%	33%	33%	50%
Pengulangan 3	0%	33%	0%	33%	0%	33%	33%	50%	50%	50%
Rata-Rata	0%	28%	11%	22%	17%	33%	39%	53%	39%	50%

**Efisiensi Penurunan Kadar Fosfat**

Pada tabel 3, reaktor 1 dengan waktu kontak 120 menit menunjukkan efisiensi penurunan rata-rata 0%. Hal tersebut dimungkinkan oleh berbagai macam faktor. Pada reaktor 1 mengandung 25 cm arang sekam padi dan 5 cm pasir sehingga reaktor 1 merupakan reaktor dengan kandungan arang

sekam padi paling banyak. Penambahan arang sekam padi memiliki efek menambah kadar fosfat dari 1,25 mg/L menjadi 2,09 mg/L (dosis 3 gram); 2,48 mg/L (dosis 4 gram) dan 2,3 mg/L (dosis 5 gram) (Garmini & Zairinayati, 2022). Sekam padi mengandung makronutrien primer seperti nitrogen, fosfat, potasium; makronutrien sekunder kalsium dan magnesium; dan mikronutrien seperti besi, mangan, sulfur, seng, dan klorida (Sooksawat et al., 2021). Kandungan fosfat pada sekam padi sebesar 0,7% dari total berat sekam padi (Abbas, 2015). Kandungan fosfat pada arang sekam padi berpotensi mempengaruhi hasil filtrasi, sehingga pada reaktor 1 pada waktu 120 menit belum mengalami penurunan kadar fosfat.

Pada reaktor 4 dengan ketebalan 17,5 cm arang sekam padi dan 12,5 cm pasir sungai dan reaktor 5 tanpa arang sekam padi dan pasir sungai pada waktu 120 menit menunjukkan tidak ada perbedaan rata-rata efisiensi penurunan yaitu sebesar 39%. Spons memiliki kemampuan menurunkan kadar fosfat dengan efisiensi penurunan 5% hingga 50% (Dalahmeh et al., 2012). Hal tersebut menyebabkan pada reaktor 5 meskipun hanya sebagai variabel kontrol dengan spons dan batuan saja, tetap terjadi penurunan kadar fosfat. Namun, spons juga memiliki kelemahan. Diameter pori-pori spons berkisar 1 hingga 1,4 mm dalam keadaan terbuka (Dalahmeh et al., 2012). Pori-pori yang fleksibel tersebut menyebabkan pengaliran air lebih cepat sehingga seiring berjalannya waktu, pori-pori akan mengalami *clogging*. *Clogging* yaitu sebuah fenomena saat media filtrasi tersumbat. Pori-pori spons yang fleksibel juga berpotensi mengalami penyumbatan oleh sisa-sisa material media filtrasi yang terbawa oleh aliran air. Hal tersebut memungkinkan terjadinya bahan pencemar tidak dapat terdegradasi dengan baik pada reaktor 4. *Clogging* pada filter dapat mengurangi porositas media sehingga seiring berjalannya waktu terjadi peningkatan headloss pada filter (Ristiyanto, 2020).

Pada reaktor 4 dengan ketebalan 17,5 cm arang sekam padi dan 12,5 cm pasir sungai pada waktu kontak 180 menit menunjukkan efisiensi penurunan dengan rata-rata 53%, tertinggi dari reaktor-reaktor lain. Pada reaktor 4 mengandung 17,5 cm arang sekam padi dan 12,5 cm pasir sehingga reaktor 4 merupakan reaktor dengan kandungan pasir paling banyak. Pasir memiliki kemampuan filtrasi yang baik sehingga dapat menurunkan kadar fosfat dengan efisiensi penurunan berkisar antara 2,4% hingga 75,9% (Hamisi et al., 2022).

### Uji Regresi Linear

**Tabel 4.** Hasil Uji Regresi Linear Ketebalan Media dan Waktu Kontak Terhadap Penurunan Kadar Fosfat

	<i>Estimate</i>	<i>p-value</i>
(Intercept)	2,791667	4,33E-06
Arang	0,057778	0,000104
Pasir	-0,077222	0,006389
Waktu	-0,007500	0,016919

Tabel 4 menunjukkan bahwa media arang sekam padi, pasir sungai dan waktu memiliki nilai *p-value* secara berturut-turut sebesar 0,000104; 0,006389; dan 0,016919. Nilai *p-value* tersebut <0,05 sehingga arang sekam padi, pasir sungai dan waktu berpengaruh signifikan terhadap penurunan kadar fosfat. Nilai *estimate* digunakan untuk membentuk suatu persamaan regresi linear yaitu

$$y = 2,791667 + 0,057778x_1 - 0,077222x_2 - 0,0075x_3$$

Keterangan :

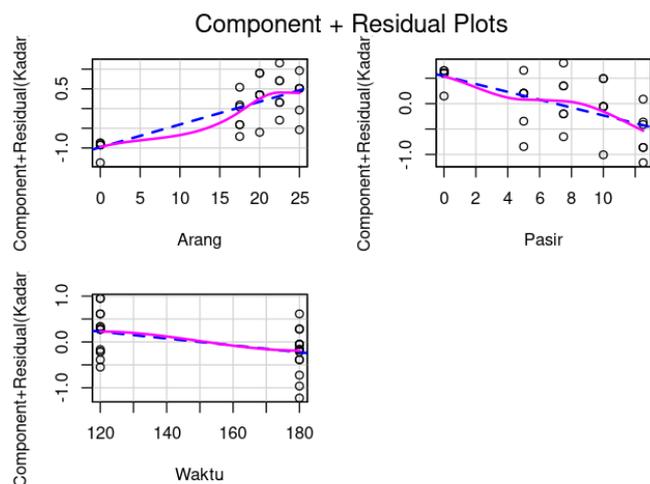
y = Kadar Fosfat

x<sub>1</sub> = Arang Sekam Padi

x<sub>2</sub> = Pasir Sungai

x<sub>3</sub> = Waktu Kontak

Nilai *estimate* pada ketebalan arang sekam padi, pasir sungai dan waktu kontak menunjukkan nilai positif, negatif, dan negatif secara berturut-turut. Hal tersebut menunjukkan bahwa setiap penambahan ketebalan arang sekam padi, pasir sungai dan penambahan waktu kontak berpengaruh terhadap penurunan kadar fosfat. Penambahan 1 cm arang sekam padi akan berdampak pada kenaikan kadar fosfat sebesar 0,057778 mg/L. Penambahan 1 cm pasir sungai berdampak pada penurunan kadar fosfat sebesar 0,077222 mg/L dan penambahan waktu kontak 1 menit berdampak pada penurunan kadar fosfat sebesar 0,0075 mg/L.



**Gambar 3.** Grafik Uji Linearitas

Pada Gambar 3 merupakan uji asumsi linearitas yang digunakan untuk menguji linearitas antara variabel terikat dan bebas pada penelitian. Pengujian ini dapat dilakukan untuk setiap jenis model linier dan model linear umum seperti regresi linear berganda. Setiap grafik menunjukkan linearitas antara kadar fosfat sebagai variabel terikat dan ketebalan arang sekam padi, pasir sungai dan waktu sebagai variabel bebas. Garis putus-putus berwarna biru dan garis lurus berwarna ungu menunjukkan kondisi yang hampir berhimpitan dan sejajar. Hal tersebut menunjukkan bahwa antara variabel terikat dan bebas memiliki linearitas.

**Uji T-Test**

**Tabel 5.** Hasil Uji *T-test*

Reaktor	Batas Signifikan	<i>p-value</i>
Reaktor 1 & 2	0,05	0,817424148
Reaktor 1 & 3	0,05	0,387503402
Reaktor 1 & 4	0,05	0,017687249
Reaktor 1 & 5	0,05	0,010345427
Reaktor 2 & 3	0,05	0,473211552
Reaktor 2 & 4	0,05	0,015655841
Reaktor 2 & 5	0,05	0,007109459
Reaktor 3 & 4	0,05	0,080245984
Reaktor 3 & 5	0,05	0,057061299
Reaktor 4 & 5	0,05	0,85831305

Tabel 5 menunjukkan beberapa reaktor tidak memiliki perbedaan signifikan antara reaktor satu dan lainnya. Reaktor yang menunjukkan beda signifikan yaitu reaktor 1 & 4, reaktor 1 & 5, reaktor 2 & 4, dan reaktor 2 & 5. Hasil tersebut dikarenakan nilai *p-value* pada reaktor-reaktor tersebut menunjukkan *p-value* < 0,05 sehingga terdapat perbedaan signifikan antar reaktor. Kandungan media filtrasi arang sekam padi dan pasir sungai yang mengandung silikon dioksida menjadi salah satu faktor terjadinya penurunan yang signifikan. Silika oksida pada pasir sebesar 40,7% (Anamila, 2022) dan pada arang sekam padi sebesar 31,86%. Kandungan silikon dioksida atau silika oksida dapat menurunkan kadar fosfat. Silika adalah suatu padatan yang memiliki pori-pori. Struktur berpori ini berkaitan dengan permukaan pori-pori dan dimanfaatkan dalam proses adsorpsi (Irawaty et al., 2021). Kandungan karbon pada arang sekam padi sebesar 41,02% dapat menyerap zat-zat pencemar yang terdapat di dalam air (Balai Penelitian dan Konsultasi Industri, 2017). Karbon aktif dan arang memiliki pori yang sangat luas yang dapat berubah bentuknya sehingga dapat menerima berbagai zat pencemar (Setyobudiarso & Yuwono, 2014).

## KESIMPULAN

Pada penelitian ini dapat disimpulkan:

1. Kadar air sampel untuk pengujian sebesar 3 mg/L. Efisiensi penurunan rata-rata pada waktu 120 menit yaitu (R1) 0%; (R2) 11%; (R3) 50%; (R4) 39%; (R5) 39% Efisiensi penurunan rata-rata pada waktu 180 menit yaitu (R1) 28%; (R2) 22%; (R3) 33%; (R4) 53%; (R5) 50%. Efisiensi terendah dan tertinggi terdapat pada reaktor 1 (25 cm arang sekam padi, 5 cm pasir sungai) dengan waktu kontak 120 menit dan reaktor 4 (17,5 cm arang sekam padi, 12,5 cm pasir sungai) dengan waktu kontak 180 menit.
2. Uji regresi linear menunjukkan nilai *p-value* pada ketebalan arang sekam padi, pasir sungai dan waktu kontak memiliki secara berturut-turut sebesar 0,000104; 0,006389; dan 0,016919. Nilai *p-value* tersebut <0,05 sehingga arang sekam padi, pasir sungai dan waktu berpengaruh signifikan terhadap penurunan kadar. Persamaan regresi linear menunjukkan penambahan 1 cm arang sekam padi akan berdampak pada kenaikan kadar fosfat sebesar 0,0577786 mg/L, penambahan 1 cm pasir sungai berdampak pada penurunan kadar fosfat sebesar 0,077222 mg/L dan penambahan waktu kontak 1 menit berdampak pada penurunan kadar fosfat sebesar 0,004479 mg/L. Uji *T-test* menunjukkan beda signifikan (*p-value* < 0,05) yaitu reaktor 1 & 4, reaktor 1 & 5, reaktor 2 & 4, dan reaktor 2 & 5.

Saran yang dapat digunakan untuk penyempurnaan studi selanjutnya yaitu perlu penelitian lebih lanjut terkait pengaruh perlakuan pada masing-masing media filter terhadap penurunan kadar zat pencemar seperti pengaruh cara pencucian, penambahan zat kimia sebagai aktivasi adsorben. Selain itu perlu dilakukan penelitian lebih lanjut terkait penambahan parameter-parameter lain seperti pH, suhu, kecepatan pengaliran sebagai variabel yang dapat mempengaruhi penurunan kadar zat pencemar.

## DAFTAR PUSTAKA

- Abbas, M. N. (2015). Phosphorus removal from wastewater using rice husk and subsequent utilization of the waste residue. *Desalination and Water Treatment*, 55(4), 970–977. <https://doi.org/10.1080/19443994.2014.922494>
- Anamila, K. (2022). *Ekstraksi Silika Dari Pasir Sungai Kambaniru (Kelurahan Kambaniru Dan Kelurahan Mauhau) Kabupaten Sumba Timur*. UPT Perpustakaan Undana. [http://skripsi.undana.ac.id/index.php?p=show\\_detail&id=6881&keywords=](http://skripsi.undana.ac.id/index.php?p=show_detail&id=6881&keywords=)
- Artiyani, A., & Firmansyah, N. H. (2016). Kemampuan Filtrasi Upflow Pengolahan Filtrasi Up Flow dengan Media Pasir Zeolit dan Arang Aktif Dalam Menurunkan Kadar Fosfat dan Deterjen Air Limbah Domestik. *Jurnal Industri Inovatif*, 6(1), 8–15.
- Bali, M., & Gueddari, M. (2019). Removal of phosphorus from secondary effluents using infiltration–percolation process. *Applied Water Science*, 9(3), 1–8. <https://doi.org/10.1007/s13201-019-0945-5>
- BPS. (2022). Luas Panen dan Produksi Padi di Kabupaten Jember 2022 (Angka Tetap). In *BPS* (Vol. 04, Issue 02). <https://jemberkab.bps.go.id/pressrelease/2022/04/04/234/luas-panen-dan-produksi-padi-di-kabupaten-jember-2021--angka-tetap-.html>
- Dalahmeh, S. S., Pell, M., Vinnerås, B., Hylander, L. D., Öborn, I., & Jönsson, H. (2012). Efficiency of bark, activated charcoal, foam and sand filters in reducing pollutants from greywater. *Water, Air, and Soil Pollution*, 223(7), 3657–3671. <https://doi.org/10.1007/S11270-012-1139-Z>
- Dewa, E., & Pasaribu, R. (2020). Analisis Kandungan Silikon Dioksida (SiO<sub>2</sub>) Pasir Pantai Koka Kabupaten Sikka dengan Metode Ekstraksi. *Prosiding Seminar Nasional Fisika PPs UNM*, 2, 76–79.
- Fitriatin, B. N., Yuniarti, A., Mulyani, O., Fauziah, F. S., & Tiara, M. D. (2009). Pengaruh Mikroba Pelarut Fosfat dan Pupuk P terhadap P Tersedia, Aktivitas Fosfatase, P Tanaman dan Hasil Padi Gogo (*Oryza sativa*. L.) pada Ultisol. *Agrikultura*, 20(3), 210–215. <https://doi.org/10.24198/agrikultura.v20i3.961>
- Garmini, R., & Zairinayati. (2022). Penurunan Kadar Fosfat Limbah Cair Usaha Laundry Dengan Karbon Aktif Sekam Padi. *Jurnal Delima Harapan*, 4, 71–76.

- Hamisi, R., Renman, A., Renman, G., Wörman, A., & Thunvik, R. (2022). Long-term phosphorus sorption and leaching in sand filters for onsite treatment systems. *Science of The Total Environment*, 833, 155254. <https://doi.org/10.1016/J.SCITOTENV.2022.155254>
- Handayani. (2009). *Sintesa Membran Nanokomposit Berbasis Nanopartikel Biosilika Dari Sekam Padi Dan Kitosan Sebagai Matriks Biopolimer*.
- Huseini, M. R., Afifah, N., & Pratiwi, W. A. (2018). Pengaruh Hidrotermal Sekam Padi Terhadap Produksi Biometana Pada AGS – SBR. *Jurnal Konversi*, 7(2), 8. <https://jurnal.umj.ac.id/index.php/konversi/article/view/3670>
- Irawaty, I., Rasyid, R., & Suryanto, A. (2021). Efektivitas Adsorpsi Fosfat Pada Limbah Laundry Dengan Menggunakan Packed Coloum. *ILTEK: Jurnal Teknologi*, 16(1), 11–15. <https://doi.org/10.47398/iltek.v16i1.585>
- Kesehatan, K. (2020). *Peraturan Menteri Kesehatan Nomor 3 Tahun 2020 tentang Klasifikasi dan Perizinan Rumah Sakit*. <https://peraturan.bpk.go.id/Home/Details/152506/permenkes-no-3-tahun-2020>
- Li, J., Han, X., Brandt, B. W., Zhou, Q., Ciric, L., & Campos, L. C. (2019). Physico-chemical and biological aspects of a serially connected lab-scale constructed wetland-stabilization tank-GAC slow sand filtration system during removal of selected PPCPs. *Chemical Engineering Journal*, 369(January), 1109–1118. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2019.03.105>
- Li, J., Zhou, Q., & Campos, L. C. (2018). The application of GAC sandwich slow sand filtration to remove pharmaceutical and personal care products. *Science of the Total Environment*, 635, 1182–1190. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.04.198>
- Metcalf, & Eddy. (2003). *Wastewater Engineering: Treatment and Reuse*. McGraw Hill.
- Palilingan, S. C., Pungus, M., & Tumimomor, F. (2019). Penggunaan kombinasi adsorben sebagai media filtrasi dalam menurunkan kadar fosfat dan amonia air limbah laundry. *Fullerene Journal of Chemistry*, 4(2), 48. <https://doi.org/10.37033/fjc.v4i2.59>
- Pamilia, C. (2008). Pengaruh Proses Pengeringan, Normalitas HCl, dan Temperatur Pembakaran Pada Pembuatan Silika dari Sekam Padi. *Journal of Chemical Engineering*, 15(1), 36–43.
- Pontiani, I., Purnaini, R., & Widha Nugraheni, P. (2023). Penurunan Parameter Pencemar Limbah Laundry Menggunakan Filter Arang Cangkang Kelapa Sawit. *Jurnal Teknologi Lingkungan Lahan Basah*, 11(1), 073. <https://doi.org/10.26418/jtlb.v11i1.59352>
- Qomaruddin, M. (2018). Studi Komparasi Karakteristik Pasir Sungai Dikabupaten Jepara. *Jurnal Ilmiah Teknosains*, 4(1), 6–10. <https://doi.org/10.26877/jitek.v4i1.2283>
- Ristiyanto, H. G. (2020). Analisis Kualitas Air Sungai Hasil Penyaringan Filter Berbasis Arang Sekam. *Simetris*, 14(2), 20–25. <https://doi.org/10.51901/simetris.v14i2.132>
- Rivaldi. (2015). *Pertumbuhan Dan Hasil Padi (Oryza Sativa L.) Salibu Varietas Hibridapada Tinggi Dan Waktu Penggenangan*.
- Said, N. (2006). Pengelolaan Air Limbah Domestik di DKI Jakarta. *Jurnal Air Indonesia*, 2(2).
- Selfia, M., Aida, N., & Rahman, A. (2022). Pengolahan Limbah Cair Pencucian Kendaraan Dengan Sistem Filtrasi Menggunakan Filter Multimedia. *Lingkar: Journal of Environmental Engineering*, 3(1), 17–31. <https://doi.org/10.22373/ljee.v3i1.1925>
- Setyobudiarso, H., & Yuwono, E. (2014). Rancang Bangun Alat Penjernih Air Limbah Cair Laundry Dengan Menggunakan Media Penyaring Kombinasi Pasir – Arang Aktif. *Jurnal Neutrino*, 84–90. <https://doi.org/10.18860/neu.v0i0.2587>
- Setyoprato, P., Srihari, E., Agustriyanto, R., Tan, M., & Hudin, A. (2022). Peran Gugus Fungsi Pada Adsorpsi Zat Warna Menggunakan Pasir Sungai. *Jurnal Teknik Kimia*, 17(1), 41–45.

- Sooksawat, N., Santibenchakul, S., Kruatrachue, M., & Inthorn, D. (2021). Recycling rice husk for removal of phosphate and nitrate from synthetic and swine wastewater: Adsorption study and nutrient analysis of modified rice husk. *Journal of Environmental Science and Health - Part A Toxic/Hazardous Substances and Environmental Engineering*, 56(10), 1080–1092. <https://doi.org/10.1080/10934529.2021.1962165>
- Suharto, B., Anugroho, F., & Putri, F. K. (2020). Penurunan Kadar Fosfat Air Limbah Laundry Menggunakan Kolom Adsorpsi Media Granular Activated Carbon (GAC). *Jurnal Sumberdaya Alam Dan Lingkungan*, 7(1), 36–46. <https://doi.org/10.21776/ub.jsal.2020.007.01.5>