



Optimalisasi Pengolahan Air Limbah *Laundry* menggunakan Media Zeolit dan Karbon Aktif dalam Filter Kombinasi Dua Tabung Kompak

Hary Pradiko¹, Anni Rochaeli², Muhammad Bagas Grahandikha^{3*}

^{123*}Program Studi Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik, Universitas Pasundan, Bandung, Indonesia.

*Corresponding Email: 203050012.bagas@mail.unpas.ac.id

Received: 19/October/2025
Accepted: 24/December/2025

Revised: 19/December/2025
Published: 31/December/2025

To cite this article:

Pradiko, H., Rochaeli, A & Grahandikha, M. B (2025). Optimalisasi Pengolahan Air Limbah Laundry menggunakan Media Zeolit dan Karbon Aktif dalam Filter Kombinasi Dua Tabung Kompak. *SPECTA Journal of Technology*, 9(3), 303-314. [10.35718/specta.v9i3.8481751](https://doi.org/10.35718/specta.v9i3.8481751)

Abstract

Laundry wastewater is a source of environmental pollution that requires attention because it contains various compounds such as surfactants, suspended solids, and organic compounds that have the potential to damage the quality of groundwater and surface water. This study aims to optimize laundry wastewater treatment in a compact two-tube combination filter containing zeolite and activated carbon media. The filter treats artificial laundry wastewater made with three concentration variations. The variations tested were the flow rate and wastewater concentration. The results showed that the best removal efficiency occurred when the zeolite media was positioned in the inner tube with a downward flow direction, then flowed to the activated carbon media in the outer tube with a downward flow direction as well. The best removal efficiency was achieved at a medium flow rate (0.06 L/s and an initial concentration of COD of 1.435,3 mg/L, surfactant of 14,5 mg/L, and TSS of 2.417 mg/L) with a COD removal efficiency of 67%, surfactant of 64%, and TSS of 91%. Several parameters have met the quality standards stipulated in Yogyakarta Special Region Regulation No. 7 of 2016 concerning Wastewater Quality Standards. Therefore, a combination filter with two compact tubes using zeolite and activated carbon media could be a solution to improve environmental quality..

Keywords: *Filtration Media, Laundry Wastewater, Optimization, Separation Efficiency, Compact Two-Tube, Combination Filter.*

Abstrak

Air limbah *laundry* merupakan salah satu sumber pencemaran lingkungan yang perlu diperhatikan karena mengandung berbagai senyawa seperti surfaktan, padatan tersuspensi dan senyawa organik yang berpotensi merusak kualitas air tanah maupun permukaan. Penelitian ini bertujuan mengoptimalkan pengolahan air limbah *laundry* dalam filter kombinasi dua tabung yang kompak berisi media zeolit dan karbon aktif. Filter tersebut mengolah air limbah *laundry* artifisial yang dibuat dengan 3 variasi konsentrasi. Variasi yang diuji adalah variasi debit dan konsentrasi air limbah. Hasil penelitian dengan pengaturan posisi media zeolit berada di tabung bagian dalam dan karbon aktif berada di tabung bagian luar untuk mengolah air limbah dengan arah aliran *downflow* pada media zeolit menuju ke media karbon aktif menunjukkan bahwa penyisihan terbaik terjadi terjadi pada variasi debit sedang (debit 0,06 L/detik dan konsentrasi awal COD sebesar 1.435,3 mg/L, surfaktan sebesar 14,5 mg/L dan TSS sebesar 2.417 mg/L) dengan efisiensi penyisihan COD sebesar 67%, surfaktan sebesar 64%, dan TSS sebesar 91%, serta sebagian sudah memenuhi baku mutu dalam Perda DIY No.7 Tahun 2016 Tentang Baku Mutu Air Limbah. Dengan demikian, filter kombinasi dua tabung kompak dengan media zeolit dan karbon aktif dapat menjadi solusi perbaikan kualitas lingkungan.

Kata Kunci: Air Limbah *Laundry*, Efisiensi Penyisihan, Filter Kombinasi Dua Tabung Kompak, Media Filtrasi, Optimalisasi .

1. Pendahuluan

Kemajuan teknologi yang semakin berkembang memberi pilihan bagi masyarakat untuk menggunakan teknologi yang dapat mempercepat dan meringankan pekerjaan, termasuk pekerjaan rumah tangga seperti mencuci pakaian. Namun tingginya harga mesin cuci dan proses mencuci yang membutuhkan waktu lama mendorong masyarakat untuk memanfaatkan jasa layanan *laundry*. Hal ini mengakibatkan peningkatan signifikan dalam penggunaan layanan *laundry*, baik itu untuk kepentingan individu, bisnis skala kecil hingga skala besar. Aktivitas *laundry* menghasilkan air limbah yang banyak dan mengandung senyawa organik kompleks seperti detergen dan pewarna. Senyawa organik ini memiliki potensi mencemari lingkungan. Keberadaan polutan dalam air limbah *laundry* berpotensi merusak kualitas sumber air, seperti air tanah, sungai, dan ekosistem sekitarnya. Jika air limbah *laundry* dialirkan langsung ke lingkungan, maka air tersebut dapat menyebabkan pencemaran dan kerusakan lingkungan jika tanpa ada pengolahan terlebih dahulu (Rusdi dan Wardalia, 2016).

Apabila tidak ditangani dengan baik, kandungan seperti *total suspended solids* (TSS), surfaktan anionik, dan lain-lain dapat menyebabkan degradasi lingkungan dan menimbulkan risiko bagi kesehatan manusia. Selain itu, residu surfaktan bersifat toksik dan dapat mengganggu sistem hormonal organisme air, serta menghambat proses fotosintesis tumbuhan air (Larasati, dkk., 2021).

Menurut penelitian yang dilakukan oleh Dinas Lingkungan Hidup (DLH) Kota Bandung (2024), karakteristik air limbah *laundry* menunjukkan jika parameter air limbah *laundry* dapat berbeda sesuai dengan jenis sabun yang digunakan dan jenis pakaian yang dicuci. Karakteristik air limbah *laundry* pada umumnya memiliki konsentrasi surfaktan 4 mg/L – 23 mg/L, konsentrasi COD 768,32 mg/L – 3.731,84 mg/L, dan konsentrasi TSS 68 mg/L – 2.640 mg/L. Setiap mesin cuci rata-rata menggunakan air 25 L untuk satu kali pencucian selama 30 menit atau 50 L/alat/jam. Jasa *laundry* rata-rata beroperasi selama 12 jam/hari. Jasa *laundry* skala sedang rata-rata memiliki 5 alat mesin cuci, sehingga total timbulan air limbah *laundry* skala sedang sebesar 3000 L/hari (50 L/alat/jam x 12 jam/hari x 5 alat mesin cuci).

Saat ini, peraturan khusus mengatur baku mutu air limbah *laundry* belum ada di Indonesia. Tetapi di beberapa daerah sudah ada yang menetapkan peraturan secara khusus mengenai baku mutu air limbah *laundry*, salah satunya adalah DI Yogyakarta. Oleh karena itu, penelitian ini menggunakan Peraturan Daerah DIY Nomor 7 Tahun 2016 tentang Baku Mutu Air Limbah sebagai acuan perbandingan. Dalam peraturan ini, baku mutu parameter COD adalah 150 mg/L, parameter surfaktan 5 mg/L, dan parameter TSS 100 mg/L.

Hingga saat ini, sebagian besar pengusaha *laundry* belum melakukan pengolahan terhadap air limbah yang dihasilkan. Air limbah langsung dibuang ke lingkungan tanpa diolah terlebih dahulu. Namun mengingat bahaya yang mungkin timbul akibat air limbah *laundry*, jumlah pengusaha *laundry* yang semakin banyak, kapasitas air limbah yang banyak, air limbah *laundry* mengandung bahan kimia berbahaya seperti deterjen yang dapat mencemari lingkungan, dan belum memiliki sistem pengolahan limbah yang memadai, maka dirasa urgent untuk melakukan pengolahan terhadap air limbah *laundry* tersebut.

Salah satu teknologi pengolahan air limbah *laundry* adalah teknologi filtrasi. Pengolahan air limbah *laundry* menggunakan media filtrasi karbon aktif dan zeolit disarankan mengingat teknologi filtrasi ini lebih mudah, murah dan efisien dibandingkan dengan teknologi yang lain. Penggunaan media filtrasi gabungan antara zeolit dan karbon aktif direkomendasikan dibandingkan penggunaan satu media filtrasi saja, ketika air yang akan diolah mengandung berbagai jenis kontaminan, seperti logam berat, ion-anorganik, serta senyawa organik yang menyebabkan bau, rasa, dan warna yang tidak sedap. Kombinasi kedua media ini mampu bekerja secara saling melengkapi, zeolit menangani penurunan ion dan logam

berat melalui mekanisme pertukaran ion, sedangkan karbon aktif menyerap polutan organik dan meningkatkan kualitas estetika air (Yu, et al., 2019).

Beberapa penelitian telah menunjukkan bahwa kombinasi karbon aktif dan zeolit dapat menurunkan parameter seperti COD dan TSS dalam air limbah *laundry*, namun hasilnya seringkali kurang optimal terhadap standar baku mutu. Penelitian pengolahan air limbah *laundry* yang dilakukan Petrus, dkk. (2023) mendapatkan hasil efisiensi TSS sebesar 88,31% dan COD 60,41%. Belum ada penelitian yang melakukan pengujian parameter COD, TSS, dan surfaktan secara bersamaan menggunakan filtrasi dengan kombinasi media karbon aktif dan zeolit dalam filter kombinasi 2 tabung kompak. Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan dengan tujuan memperoleh efisiensi penyisihan parameter COD, TSS, dan surfaktan yang optimum dalam pengolahan air limbah *laundry* menggunakan filter kombinasi dua tabung yang kompak berisi media zeolit dan karbon aktif.

Kebaruan penelitian ini adalah pada pengolahan air limbah *laundry* menggunakan filter gabungan dua tabung yang masing-masing berisi media zeolit dan karbon aktif, di mana tabung pertama berada di dalam tabung yang kedua. Penelitian ini dilaksanakan pada bulan November 2024 sampai Januari 2025 di Laboratorium Air Teknik Lingkungan Universitas Pasundan Bandung. Penelitian tersebut menggunakan air limbah buatan untuk mempermudah proses analisis.

2. Tinjauan Pustaka

Filtrasi adalah suatu proses dalam pengolahan air dengan cara mengalirkan air atau larutan melalui beberapa media filtrasi yang tercipta dari material yang ketebalan dan diameternya sudah ditentukan. Pengaplikasian filtrasi sangat mudah, bisa dirancang serba ringkas dan hemat ruang, tetapi tetap memiliki kemampuan menyaring air limbah dengan efektif (Pradiko, dkk., 2021). Media filtrasi terdiri dari beberapa kombinasi material yaitu karbon aktif, zeolit, dan lain sebagainya (Zahro, 2020). Kombinasi media zeolit dan karbon aktif dapat digunakan untuk menyisihkan surfaktan dan COD dari air limbah bekas cucian karena memiliki sifat adsorpsi yang sangat efektif (Pradiko, dkk., 2019). Karbon aktif memiliki daya adsorpsi untuk menurunkan konsentrasi surfaktan pada air limbah *laundry* dengan efisiensi penyisihan mulai dari 40,22% sampai 70,90% (Utomo, dkk., 2018). Sementara zeolit yang digunakan untuk filtrasi air limbah *laundry* dapat mengurangi konsentrasi TSS sampai 40% (Lalijo, 2023).

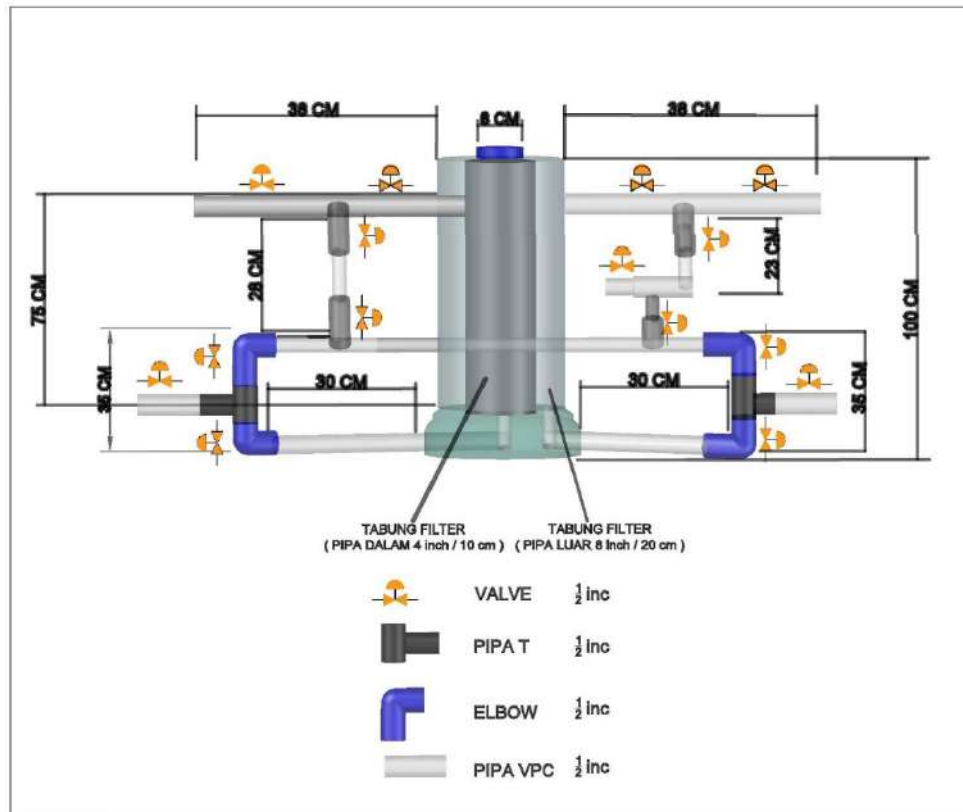
3. Metodologi

Penelitian yang dilakukan merupakan penelitian skala laboratorium yang dilaksanakan pada bulan November 2024 sampai Januari 2025 di Laboratorium Air Teknik Lingkungan Universitas Pasundan Bandung. Penelitian dilakukan untuk mengetahui pengaruh konsentrasi dan debit filtrasi untuk mengolah air limbah *laundry* menggunakan metode filtrasi kombinasi dua tabung kompak dengan media zeolit dan karbon aktif.

Data yang disajikan pada penelitian ini merupakan kuantitatif deskriptif. Pendekatan ini bertujuan untuk melihat kualitas penyisihan parameter penting dalam air limbah *laundry* seperti surfaktan, COD dan TSS yang dimiliki oleh reaktor filter kombinasi dua tabung kompak dengan media zeolit dan karbon aktif. Untuk melengkapi informasi terkait air limbah *laundry* dan potensi filter, maka dilakukan studi literatur dan pengumpulan data sekunder yang sesuai dengan penelitian seperti karakteristik air limbah, peraturan baku mutu air limbah *laundry*, dan sebagainya.

3.1. Metode Pengujian

Pengujian dilakukan dengan menggunakan reaktor filter kombinasi dua tabung kompak. Gambar reaktor filter kombinasi dua tabung kompak dapat dilihat pada **Gambar 1**.



Gambar 1: Reaktor Filter Dua Tabung Kompak

Air limbah *laundry* yang digunakan pada penelitian adalah air limbah *laundry* artifisial yang dibuat dengan mengacu kepada karakteristik air limbah *laundry* yang ada di Kota Bandung. Air limbah artifisial dibuat menggunakan campuran air keran, tanah, dan deterjen cair dengan cara mengatur kadar tanah dan deterjen sampai menemukan konsentrasi yang mendekati karakteristik air limbah *laundry* tersebut. Sebelum itu, dilakukan pengujian konsentrasi COD dan surfaktan dalam setiap volume deterjen cair yang digunakan, sehingga dapat ditentukan volume deterjen cair yang diperlukan untuk mendapatkan konsentrasi COD dan surfaktan yang mendekati konsentrasi air limbah *laundry* yang asli. Sedangkan untuk konsentrasi TSS dalam air limbah *laundry* buatan disiapkan dengan cara melarutkan tanah hingga diperoleh konsentrasi TSS yang juga mendekati konsentrasi air limbah *laundry* yang asli.

Dalam melakukan optimalisasi terhadap potensi daur ulang dari air limbah *laundry* menggunakan filter kombinasi dua tabung kompak, digunakan variasi konsentrasi dan debit, mengingat besarnya konsentrasi dan debit di lapangan bervariasi, sesuai dengan besar kecilnya skala usaha *laundry*. Matriks penelitian yang digunakan dapat dilihat pada **Tabel 1**.

Tabel 1: Matriks Variasi Konsentrasi (C) dan Debit (Q)

C \ Q	Q		
	Q1 (Besar)	Q2 (Sedang)	Q3 (Kecil)
C1 (Kecil)	C1Q1	C1Q2	C1Q3
C2 (Sedang)	C2Q1	C2Q2	C2Q3
C3 (Besar)	C3Q1	C3Q2	C3Q3

3.2. Analisis Data

Analisis data dilakukan dengan menghitung efisiensi proses penyisihan konsentrasi parameter COD, TSS, dan surfaktan dengan mengacu kepada SNI 6989:3:2019 untuk TSS, SNI 6989.2:2019 untuk COD, dan SNI 06-6989.51-2005 untuk surfaktan pada air limbah *laundry* sebelum dan sesudah perlakuan. Selain itu juga dilakukan analisis pengaruh waktu kontak terhadap proses adsorpsi dalam filter yang diuji untuk mengetahui waktu kontak terbaiknya.

Efisiensi proses adalah nilai menunjukkan perbandingan antara besarnya konsentrasi parameter yang masuk ke suatu proses pengolahan dengan nilai yang keluar dari proses pengolahan tersebut. Besarnya efisiensi dinyatakan dalam bentuk persentase (%), menggunakan rumus sebagai berikut:

$$\text{Efisiensi (\%)} = \frac{A_o - A_n}{A_o} \times 100\% \quad (1)$$

Di mana:

A_o adalah konsentrasi parameter sebelum dilakukan pengolahan

A_n adalah konsentrasi parameter setelah dilakukan pengolahan

4. Hasil dan Pembahasan

4.1. Hasil Penelitian

Pada penelitian ini konsentrasi air limbah *laundry* artifisial yang dibuat adalah 230 L untuk satu kali *running*. Deterjen cair yang digunakan untuk membuat air limbah adalah deterjen yang sama dengan usaha *laundry*, sementara tanah digunakan untuk membuat air limbah artifisial memiliki parameter TSS. Berdasarkan penelitian yang sudah dilakukan, arah aliran dan letak media filtrasi yang optimal yaitu arah aliran *downflow* pada media zeolit ke karbon aktif dengan arah aliran juga *downflow* dengan letak media zeolit berada di tabung dalam dan karbon aktif berada di tabung luar dengan waktu pengolahan selama 30 menit. Berikut merupakan hasil pengujian terhadap variasi konsentrasi dan debit.

4.1.1. Debit

Debit pompa yang digunakan pada penelitian ini didasarkan kepada debit air limbah yang dihasilkan oleh *laundry* pada umumnya. Dari debit tersebut kemudian ditentukan jenis pompa yang dapat mengalirkan air limbah *laundry*. Berdasarkan survei yang telah dilakukan, volume air limbah *laundry* rata-rata adalah 3000 L setiap hari. jika diasumsikan waktu operasional usaha *laundry* adalah 12 jam (43200 detik) setiap hari, maka debit pompa pengolahan ditentukan dengan perhitungan berikut ini:

$$Q_{\text{pompa}} = \frac{V_{\text{lapangan}}}{W_{\text{aktu Operasional}}} \quad (2)$$

$$Q_{\text{pompa}} = \frac{3000}{43200}$$

$$Q_{\text{pompa}} = 0,069 \text{ L/detik}$$

Di mana:

- Q_{pompa} adalah debit pompa pengolahan
- V_{lapangan} adalah volume timbulan air limbah *laundry* setiap hari
- $W_{\text{aktu Operasional}}$ adalah waktu kegiatan *laundry* setiap hari

Berdasarkan perhitungan tersebut di atas, debit pompa pengolahan berada pada kisaran 0,069 L/detik. Debit tersebut dijadikan debit menengah (Q_2) dalam variasi debit yang digunakan. Untukantisipasi skala usaha *laundry*, maka diambil debit yang lebih besar 50% dari Q_2 untuk mewakili usaha *laundry* skala besar (Q_1) dan debit yang lebih kecil 50% dari Q_2 untuk mewakili usaha *laundry* skala kecil (Q_3). Untuk lebih jelasnya variasi debit beserta waktu kontak yang digunakan dalam penelitian ini dapat dilihat pada **Tabel 2**.

Tabel 2: Variasi Debit Pompa dan Waktu Kontak Air Limbah *Laundry* dengan Media Filtrasi

Variasi Debit	Debit (L/detik)	Waktu Kontak (Detik)
Q_1 (Debit besar)	0,104	134,62
Q_2 (Debit sedang)	0,069	202,90
Q_3 (Debit kecil)	0,035	400,00

4.1.2. Karakteristik Air Limbah pada Setiap Variasi

Penggunaan air, deterjen, dan tanah untuk membuat air limbah artifisial menghasilkan variasi konsentrasi pada setiap parameter yang diuji seperti pada **Tabel 3**.

Tabel 3: Variasi Konsentrasi Air Limbah *Laundry*

Variasi Konsentrasi	Konsentrasi (mg/L)		
	COD	Surfaktan	TSS
C ₁ (Konsentrasi kecil)	768,6	7	840
C ₂ (Konsentrasi sedang)	1.435,3	14,5	1.660
C ₃ (Konsentrasi besar)	2.167,5	22	2.417

Penentuan variasi konsentrasi, debit, waktu pengolahan serta tekanan didasari dari penelitian sebelumnya, setelah itu dilakukan eksperimen. Sehingga menunjukkan hasil yang akan digunakan pada penelitian ini.

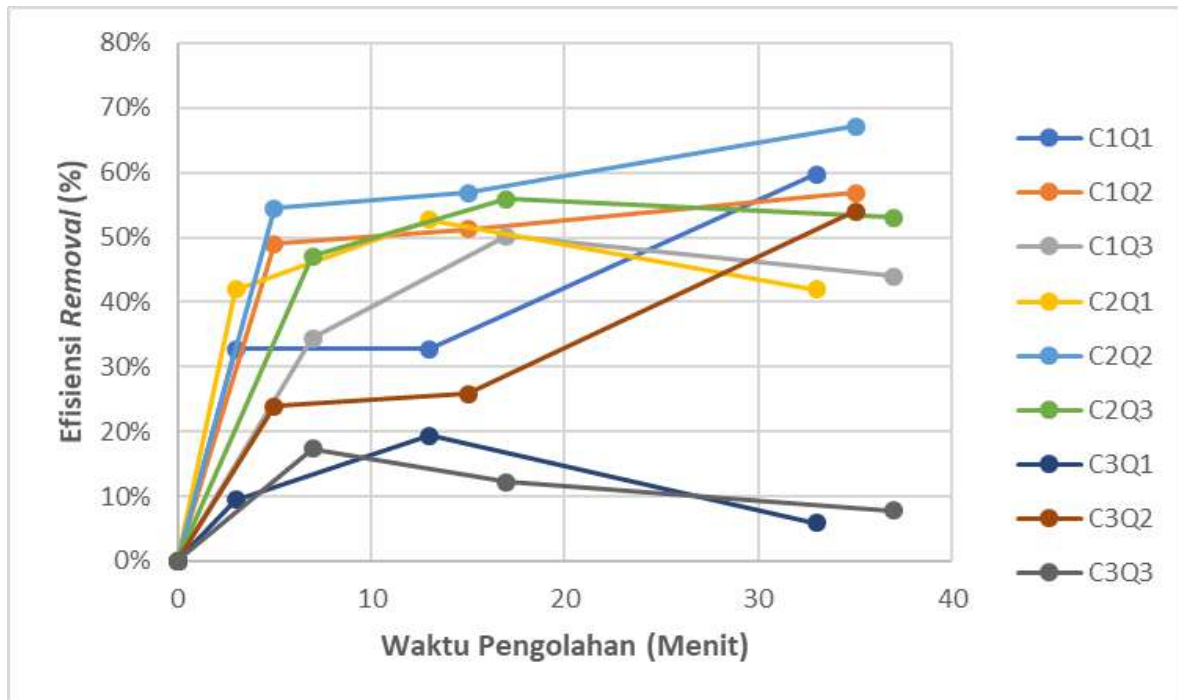
4.1.3. Hasil Pengujian

Hasil pengujian parameter COD dapat dilihat pada **Tabel 4**.

Tabel 4: Hasil Pengujian Pengolahan Air Limbah *Laundry* Parameter COD

Nama Sampel	Variasi			Waktu Pengolahan (Menit)	Konsentrasi Efluen (mg/L)	Efisiensi Removal (%)
	Konsentrasi Awal (mg/L)	Debit (L/detik)	Tekanan (Psi)			
C1Q1	768,6	0,104	9	3	515,0	33
				13	307,4	60
				33	353,6	54
C1Q2	768,6	0,069	2,5	5	392,0	49
				15	376,6	51
				35	330,5	57
C1Q3	768,6	0,035	1	7	507,3	34
				17	384,3	50
				37	430,4	44
C2Q1	1.435,3	0,104	9	3	832,5	42
				13	674,6	53
				33	832,5	42
C2Q2	1.435,3	0,069	2,5	5	645,9	55
				15	617,2	57
				35	473,7	67
C2Q3	1.435,3	0,035	1	7	760,7	47
				17	631,5	56
				37	674,6	53
C3Q1	2.167,5	0,104	9	3	1.972,4	9
				13	1.755,7	19
				33	2.037,5	6
C3Q2	2.167,5	0,069	2,5	5	1.647,3	24
				15	1.604,0	26
				35	997,1	54
C3Q3	2.167,5	0,035	1	7	1.799,0	17
				17	1.907,4	12
				37	1.994,1	8

Berdasarkan **Tabel 4**, secara umum efisiensi penyisihan terbaik pada pengujian parameter COD terjadi pada konsentrasi C₂ (sedang) dan debit Q₂ (sedang) dengan rentang 55% - 67% dari konsentrasi awal sebesar 1.435,3 mg/L. Grafik efisiensi penyisihan COD dapat dilihat pada **Gambar 2**.



Gambar 2: Grafik Efisiensi *Removal* Parameter COD

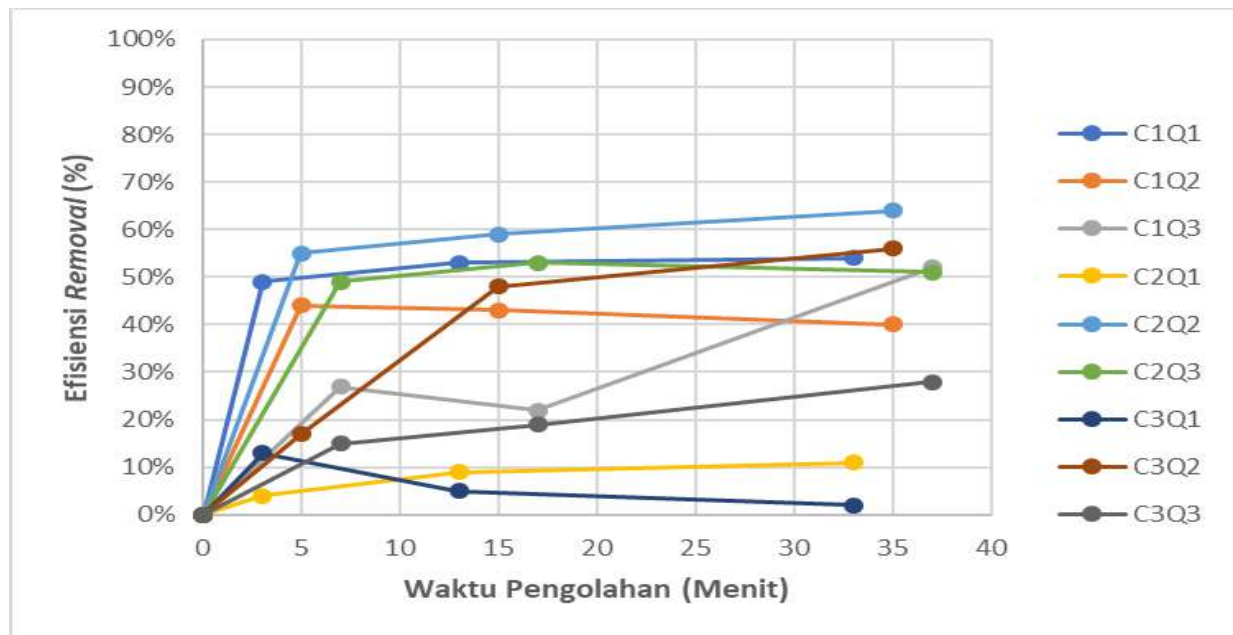
Berdasarkan **Gambar 2**, terdapat kenaikan serta penurunan pada setiap variasi konsentrasi dan debit. Debit serta konsentrasi sedang (C_2Q_2) terlihat menunjukkan hasil yang lebih bagus dari variasi yang lain dikarenakan pada debit dan konsentrasi tersebut proses adsorpsi oleh zeolit dan karbon aktif mencapai kondisi optimum di mana air limbah mempunyai kesempatan yang cukup untuk dapat teradsorpsi ke dalam media zeolit dan karbon aktif. Debit yang lebih besar membuat waktu kontak antara air limbah dan media filtrasi lebih sedikit, sedangkan debit yang lebih rendah membuat air limbah tidak menyentuh seluruh bagian media, sehingga membuat air limbah tidak terproses dengan baik. Hasil pengujian parameter surfaktan air limbah *laundry* dapat dilihat pada **Tabel 5**.

Tabel 5: Hasil Pengujian Pengolahan Air Limbah *Laundry* Parameter Surfaktan

Nama Sampel	Variasi			Waktu Pengolahan (Menit)	Konsentrasi Efluen (mg/L)	Efisiensi <i>Removal</i> (%)
	Konsentrasi Awal (mg/L)	Debit (L/detik)	Tekanan (Psi)			
C1Q1	7	0,104	9	3	3,6	49
				13	3,3	53
				33	3,2	54
C1Q2	7	0,069	2,5	5	3,9	44
				15	4,0	43
				35	4,2	40
C1Q3	7	0,035	1	7	5,1	27
				17	5,5	22
				37	3,4	52
C2Q1	14,5	0,104	9	3	13,9	4
				13	13,2	9
				33	12,9	11
C2Q2	14,5	0,069	2,5	5	6,5	55
				15	5,9	59
				35	5,2	64
C2Q3	14,5	0,035	1	7	7,4	49
				17	6,8	53
				37	7,1	51
C3Q1	22	0,104	9	3	19,1	13
				13	20,9	5

Nama Sampel	Variasi			Waktu Pengolahan (Menit)	Konsentrasi Efluen (mg/L)	Efisiensi Removal (%)
	Konsentrasi Awal (mg/L)	Debit (L/detik)	Tekanan (Psi)			
C3Q2	22	0,069	2,5	33	21,6	2
				5	18,3	17
				15	11,4	48
				35	9,7	56
C3Q3	22	0,035	1	7	18,7	15
				17	17,8	19
				37	15,8	28

Berdasarkan **Tabel 5**, secara umum efisiensi penyisihan terbaik pada pengujian parameter surfaktan terjadi pada konsentrasi C₂ (sedang) dengan debit Q₂ (sedang) dengan rentang 55% - 64% dari konsentrasi awal sebesar 14,5 mg/L. Grafik efisiensi penyisihan surfaktan terlihat pada **Gambar 3**.



Gambar 3: Grafik Efisiensi Removal Parameter Surfaktan

Berdasarkan **Gambar 3** dan **Tabel 5** di atas diketahui jika nilai konsentrasi efluen surfaktan masih berada di atas baku mutu kegiatan industri *laundry* Peraturan Daerah Daerah Istimewa Yogyakarta Nomor 7 Tahun 2016 tentang Baku Mutu Air Limbah sebesar 5 mg/L. Variasi C₂Q₂ merupakan variasi konsentrasi dan debit yang hasil olahannya hampir mendekati nilai baku mutu dengan memiliki efisiensi penyisihan surfaktan sebesar 64% dari konsentrasi awal sebesar 14,5 mg/L.

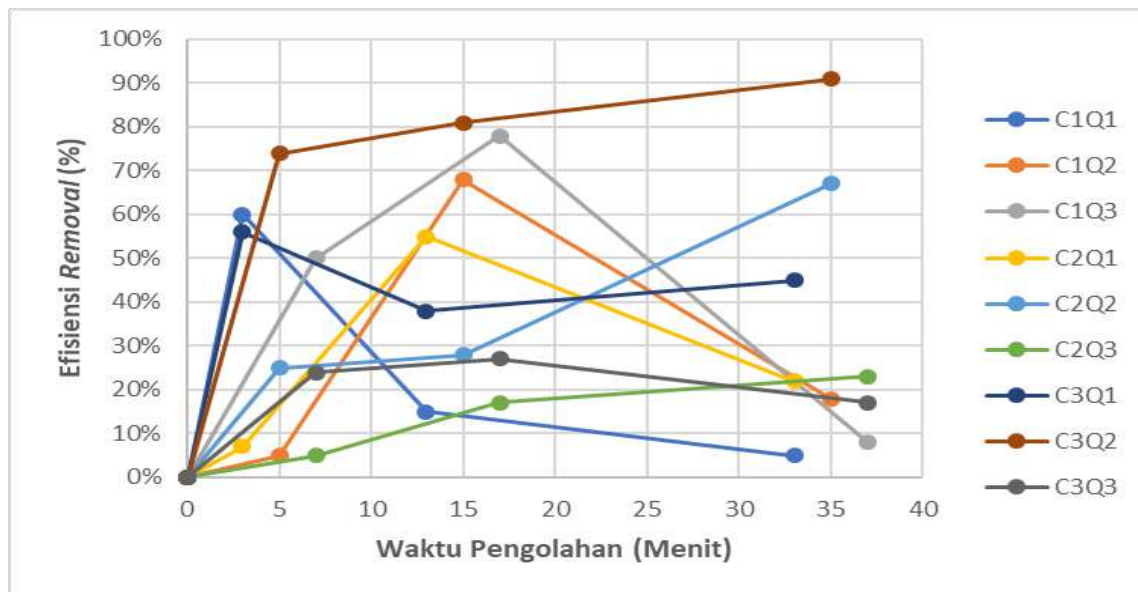
Hasil pengujian parameter TSS air limbah *laundry* dapat dilihat pada **Tabel 6**.

Tabel 6: Hasil Pengujian Pengolahan Air Limbah *Laundry* Parameter TSS

Nama Sampel	Variasi			Waktu Pengolahan (Menit)	Konsentrasi Efluen (mg/L)	Efisiensi Removal (%)
	Konsentrasi Awal (mg/L)	Debit (l/det)	Tekanan (Psi)			
C1Q1	840	0,1	9	3	336	60
				13	714	15
				33	798	5
C1Q2	840	0,06	2,5	5	798	5
				15	268,8	68
				35	688,8	18
C1Q3	840	0,03	1	7	420	50
				17	184,8	78
				37	772,8	8

Nama Sampel	Variasi			Waktu Pengolahan (Menit)	Konsentrasi Efluen (mg/L)	Efisiensi Removal (%)
	Konsentrasi Awal (mg/L)	Debit (l/det)	Tekanan (Psi)			
C2Q1	1.660	0,1	9	3	1543,8	7
				13	747	55
				33	1294,8	22
C2Q2	1.660	0,06	2,5	5	1245	25
				15	1195,2	28
				35	547,8	67
C2Q3	1.660	0,03	1	7	1577	5
				17	1377,8	17
				37	1278,2	23
C3Q1	2.417	0,1	9	3	1063,5	56
				13	1498,5	38
				33	1329,4	45
C3Q2	2.417	0,06	2,5	5	628,4	74
				15	459,2	81
				35	217,5	91
C3Q3	2.417	0,03	1	7	1836,9	24
				17	1764,4	27
				37	2006,11	17

Berdasarkan **Tabel 6**, secara umum efisiensi penyisihan terbaik pada pengujian parameter TSS terjadi pada konsentrasi C₃ (besar) dengan debit Q₂ (sedang) dengan rentang 74% - 91% dari konsentrasi awal sebesar 2.417 mg/L. Grafik efisiensi penyisihan TSS dapat dilihat pada **Gambar 4**.



Gambar 4: Grafik Efisiensi Removal Parameter TSS

Berdasarkan **Tabel 6** dan **Gambar 4** di atas menunjukkan bahwa semua variasi konsentrasi dan debit yang dilakukan pengujian memiliki nilai konsentrasi TSS di bawah 100 mg/L mengacu pada Baku Mutu Peraturan Daerah Daerah Istimewa Yogyakarta Nomor 7 Tahun 2016 tentang Baku Mutu Air Limbah. Hal tersebut menunjukkan jika filtrasi mampu menyisihkan padatan tersuspensi dengan baik dengan nilai efisiensi penyisihan TSS terbaik dengan rentang 74% - 91%.

4.2. Usulan Pengolahan Air Limbah Laundry yang Direkomendasikan

Pengaruh debit dan konsentrasi terhadap penyisihan parameter air limbah laundry selanjutnya dianalisis menggunakan Metode Anova Two-Factor Without Replication.

Analisis Anova pada parameter COD dapat dilihat pada **Tabel 7**.

Tabel 7: Analisis Anova pada Parameter COD

Sumber Variasi	SS	df	MS	F	F-kritis	p-value
Debit	596,82	2	298,41	31,68	6,94	0,0035
Konsentrasi Awal	8.802,00	2	4.401,00	467,23	6,94	1,82E-05
Error	37,68	4	9,42			

Berdasarkan analisis Anova pada parameter COD (**Tabel 7**), baik debit maupun konsentrasi awal memiliki nilai F jauh di atas F kritis dan p-value <0,05 sehingga keduanya berpengaruh signifikan terhadap COD efluen. Hasil pengukuran COD menunjukkan total kebutuhan oksigen kimia untuk mengoksidasi bahan organik dalam air limbah. Semakin besar beban organik (konsentrasi awal), semakin tinggi pula nilai COD (Metcalf & Eddy, 2014).

Tabel 8 berikut memperlihatkan analisis Anova pada parameter surfaktan.

Tabel 8: Analisis Anova pada Parameter Surfaktan

Sumber Variasi	SS	df	MS	F	F-kritis	p-value
Debit	22,65	2	11,32	0,40	6,94	0,69
Konsentrasi Awal	283,41	2	141,70	5,03	6,94	0,08
Error	112,71	4	28,19			

Berdasarkan analisis Anova pada parameter surfaktan (**Tabel 8**), faktor debit tidak berpengaruh signifikan terhadap surfaktan efluen sedangkan konsentrasi awal menunjukkan nilai p-value = 0,081 yang mendekati batas signifikansi (0,05). Hal tersebut menunjukkan bahwa beban awal surfaktan mungkin memiliki pengaruh terhadap kadar surfaktan yang tersisa di efluen. Hasil pengukuran surfaktan menunjukkan konsentrasi surfaktan anionik seperti deterjen yang terkandung dalam air limbah. Dalam sistem pengolahan, surfaktan biasanya diuraikan melalui proses adsorpsi atau biologis dan kemampuan sistem menurunkan kadar surfaktan bergantung pada beban awal bahan organik serta efisiensi dari proses adsorpsi (APHA, 2017).

Analisis Anova pada parameter TSS dapat dilihat pada **Tabel 9**.

Tabel 9: Analisis Anova pada Parameter TSS

Sumber Variasi	SS	df	MS	F	F-kritis	p-value
Debit	528,67	2	264,33	0,65	6,94	0,57
Konsentrasi Awal	1.824	2	912,00	2,25	6,94	0,22
Error	1.623,33	4	405,83			

Berdasarkan analisis anova pada parameter TSS (**Tabel 9**), nilai F untuk debit dan konsentrasi awal lebih kecil daripada nilai F kritis yang menunjukkan bahwa perubahan debit dan konsentrasi awal tidak berpengaruh nyata terhadap kadar TSS efluen. Hasil pengukuran TSS menggambarkan jumlah padatan tersuspensi yang tidak larut dalam air seperti bahan organik yang belum mengendap. Debit dapat mempengaruhi TSS hanya jika perubahan debit cukup besar sehingga mengubah waktu pengolahan. Tetapi variasi debit kecil tidak menimbulkan perubahan berarti pada konsentrasi TSS efluen (Metcalf & Eddy, 2014).

Metode pengaliran dalam pengolahan air limbah *laundry* yang digunakan dalam penelitian ini adalah dengan sistem kontinu. Sistem kontinu ini merupakan proses pemisahan kontaminan dari fluida (air atau udara) yang berlangsung terus-menerus. Sistem kontinu ini banyak digunakan dalam pengolahan air limbah, termasuk air limbah *laundry*, karena efisiensi dan kemudahan operasionalnya (Ronny & Saleh, 2018). Selain itu, filter dengan sistem kontinu mampu menurunkan parameter pencemar seperti COD, BOD, dan Surfaktan secara signifikan (Saputra dkk., 2023).

Efisiensi penyisihan parameter dalam proses filtrasi dipengaruhi oleh beberapa faktor, antara lain kapasitas adsorpsi media, ukuran media, waktu kontak, kecepatan aliran, dan debit aliran. Kecepatan dan debit aliran air limbah melalui filter dapat mempengaruhi waktu kontak. Waktu kontak (*contact*

time) adalah lama waktu fluida berada dalam filter dan berkontak dengan media filtrasi. Waktu kontak sangat penting karena menentukan sejauh mana proses adsorpsi, filtrasi, dan pertukaran ion dapat bekerja secara optimal. Jika waktu terlalu singkat dapat menyebabkan pengolahan kurang efektif, jika terlalu lama dapat menyebabkan pengolahan tidak efisien dan media filtrasi cepat jenuh. Dalam filtrasi berkelanjutan, waktu kontak berkaitan erat dengan kecepatan alir dan tinggi media filtrasi (Fairuz, 2022). Waktu kontak antara adsorben dan adsorbat yang terlalu lama dapat menyebabkan kondisi adsorben menjadi jenuh (Zian, 2016).

Pada pengujian air limbah *laundry* menggunakan media zeolit dan karbon aktif dalam reaktor filter kombinasi dua tabung kompak, terdapat nilai konsentrasi efluen yang bervariasi. Hal tersebut menunjukkan jika efisiensi pengolahan dipengaruhi oleh waktu pengolahan, jumlah media dan beban pengolahan.

Hasil pengujian menunjukkan variasi debit sedang (Q_2) memiliki efisiensi yang lebih baik daripada debit besar (Q_1) atau kecil (Q_3). Hal tersebut dapat terjadi karena pada variasi debit sedang (Q_2) tersedia waktu kontak yang cukup untuk memberi kesempatan kontak antara media filtrasi dengan air limbah yang masuk ke dalam filter sehingga adsorpsi dapat terjadi dengan maksimal.

Kondisi naik turunnya efisiensi penyisihan dapat diakibatkan perubahan kondisi yang terjadi dalam filter, seperti media filtrasi yang mengalami penurunan kinerja akibat kejenuhan adsorpsi, penyumbatan, atau distribusi aliran yang tidak merata sehingga proses kontak antara air limbah dan media menjadi tidak optimal. Selain itu ukuran media juga dapat mempengaruhi efisiensi penyisihan. Ukuran media filtrasi yang lebih kecil memungkinkan interaksi lebih luas antara kontaminan dan media, sehingga menghasilkan efisiensi penyisihan kontaminan yang lebih tinggi (Pradiko, dkk., 2019).

5. Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian potensi daur ulang air limbah *laundry* menggunakan media zeolit dan karbon aktif pada reaktor filter kombinasi dua tabung kompak dapat disimpulkan bahwa efisiensi penyisihan COD dan surfaktan terbaik terjadi pada variasi debit Q_2 (sedang) sebesar 0,06 L/detik dan konsentrasi awal C_2 (sedang) dengan hasil penyisihan COD 55% - 67% dari nilai konsentrasi awal sebesar 1.435,3 mg/L dan hasil penyisihan surfaktan 55% - 64% dari nilai konsentrasi awal sebesar 14,5 mg/L, sedangkan untuk parameter TSS variasi terbaik terjadi pada debit Q_2 (sedang) dan konsentrasi C_3 (besar) dengan hasil penyisihan TSS 74% - 91% dari konsentrasi awal sebesar 2.417 mg/L. Hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa sebagian parameter sudah memenuhi baku mutu. Dengan demikian, filter kombinasi dua tabung kompak dengan media zeolit dan karbon aktif dapat menjadi solusi perbaikan kualitas lingkungan.

Ucapan Terima Kasih

Ucapan terimakasih disampaikan kepada Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset dan Teknologi yang telah mendanai penelitian melalui Program Hibah Penelitian Fundamental tahun anggaran 2024.

Daftar Pustaka

- American Public Health Association (APHA). (2017). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (23rd ed.). Washington, D.C.: APHA, AWWA, WEF.
- Badan Standarisasi Nasional (2019). *SNI 06-6989.51- Kadar Surfaktan Anionik dalam Air dan Air Limbah dengan Spektrofotometer Secara Biru Metilen*. Jakarta: BSN.
- Badan Standarisasi Nasional (2019). *SNI 6989.2:2019 Cara Uji Kebutuhan Oksigen Biokimia (COD)*. Jakarta: BSN.
- Badan Standarisasi Nasional (2019). *SNI 6989.3:2019 Cara Uji Padatan Tersuspensi Total (TSS)*. Jakarta: BSN.
- Dinas Lingkungan Hidup Kota Bandung (2024). *Laporan Akhir Manual Book Laundry*. Kota Bandung: DLH Kota Bandung
- Fairuz, A. N. Amin, M. Darajat, A.R. (2022). Studi Waktu Kontak dan Ketebalan Media pada Filtrasi Teknologi Rainwater Harvesting di Universitas Tidar. Dalam *Prosiding Seminar Nasional Riset Teknologi Terapan: 2022*. e-ISSN:2747- 1217
- Kalam, S. (2021). *Surfactant Adsorption Isotherms: A Review*. ACS Omega
- Laliyo. (2023). *Pengolahan Limbah Laundry dengan Metode Filtrasi*. Tugas Akhir. Program Studi Teknik Lingkungan. Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan. Universitas Islam Indonesia. Yogyakarta.
- Larasati, N.N., Wulandari, S.Y., Masrukah, L., Zainuri, M., & Kunarso. (2021). Kandungan Pencemar Detejen dan Kualitas Air di Perairan Muara Sungai Tapak, Semarang. *Indonesian Journal of Oceanography*, Vol. 03 No. 01, ISSN: 2714-8726.
- Metcalf & Eddy, Inc. (2014). *Wastewater Engineering: Treatment and Resource Recovery* (5th edition.). McGraw-Hill, New York.
- Pemerintah Daerah Istimewa Yogyakarta (2016). *Peraturan Daerah Daerah Istimewa Yogyakarta Nomor 7 Tahun 2016 Tentang Baku Mutu Air Limbah*. Yogyakarta.
- Pradiko, H., Mulyatna, L., Afiatun, E., & Heraudi, A. F. (2021). Determination of The Best Flow Direction in Wastewater Treatment for Vehicle Wash Facilities Using Activated Carbon Filters. In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* (Vol. 1098, No. 5, p. 052029). IOP Publishing.
- Pradiko, H., Harahap, M. G., Mulyatna, L., Afiatun, E., & Setiawan, F. (2019). Determination of Reactor Diameter of Wastewater Treatment for Vehicle Wash Facilities Using RA 52 Modified Zeolite Filtration Media, *2019 International Conference on Sustainable Engineering and Creative Computing (ICSECC)*, Bandung, Indonesia. pp. 259-264.
- Ronny, R., & Saleh, M. (2018). Penurunan Kadar COD dengan Metode Filtrasi Multimedia Filter pada Air Limbah Laundry. *HIGIENE: Jurnal Kesehatan Lingkungan*, 4(1), 48-53.
- Rusdi, dan Wardalia. (2016). Pengolahan Limbah Jasa Pencucian Kendaraan dengan Metode Koagulasi-Flokulasi. *Prosiding Seminar Nasional Teknik Kimia "Kejuangan": Pengembangan Teknologi Kimia untuk Pengolahan Sumber Daya Alam Indonesia*
- Saputra, K. A. D., Sumadewi, N. L. U., & Astuti, N. P. W. (2023). Efektivitas Metode Filtrasi Karbon Aktif dalam Menurunkan Kadar COD pada Limbah Cair Laundry di Desa Tonja Kecamatan Denpasar Utara, Kota Denpasar Tahun 2022. *Jurnal Kesehatan, Sains, dan Teknologi (JAKASAKTI)*
- Yu, L. J., K. R., Lim, K. Y., Tan, L. S., M. T., Zulkoffli, Z. B., & E. S. (2019). Comparison of Activated Carbon and Zeolites' Filtering Efficiency in Freshwater. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, Volume 7.
- Zahro, S. F. (2020). *Rancang Bangun Filter Limbah Cair Laundry Skala Rumah Tangga dengan Menggunakan Multimedia Filter*. Tugas Akhir, Teknik Lingkungan, Universitas Indonesia.
- Zian, U. D. (2016). *Pengaruh Waktu Kontak pada Adsorpsi Remazol Violet 5R Menggunakan Adsorben Nata De Coco*. Sains dan Seni ITS. Vol. 5 No. 2