

Penurunan Kadar Fosfat Air Limbah Laundry Menggunakan Kolom Adsorpsi Media Granular Activated Carbon (GAC)

Degradation Phosphate Level of Laundry Wastewater Using Column Adsorption with Granular Activated Carbon (GAC) Media

Bambang Suharto¹, Fajri Anugroho¹, Fidyasari Kusuma Putri^{2*}

¹Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Brawijaya Jl. Veteran, Malang 65145

²Program Studi Teknik Lingkungan, Jurusan Keteknikan Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Brawijaya Jl. Veteran, Malang 65145

Email korespondensi: bambang@ub.ac.id

ABSTRAK

Penggunaan deterjen dalam laundry yang meningkat seiring perubahan gaya hidup dan sosial-ekonomi menghasilkan limbah laundry yang dapat menimbulkan dampak pencemaran air akibat berlebihnya kadar fosfat di perairan. Metode kolom adsorpsi merupakan salah satu cara mengolah air limbah laundry. Penelitian dilaksanakan untuk mengetahui pengaruh variasi aliran, waktu dan kolom terhadap suhu, pH, warna dan konsentrasi fosfat; serta mengetahui pengaruh kombinasi granular activated carbon (GAC) berbahan dasar tempurung kelapa dalam kolom terhadap removal fosfat. Kolom adsorpsi dijalankan dengan aliran non-sirkulasi (NS) dan sirkulasi (S). Media adsorpsi adalah GAC 4x8 mesh (11.3 mm²) 200 gram (K1); GAC 4x8 mesh 300 gram (K2); GAC 6x12 mesh (5.6 mm²) 200 gram (K3) dan; GAC 6x12 mesh 300 gram (K4). Pengambilan sampel dilakukan setiap 60 menit sekali selama 3 jam. Peningkatan suhu terjadi pada kolom NS dan penurunan suhu terjadi pada kolom S saat waktu retensi 60-180 menit. Penurunan pH terjadi pada semua kolom dengan semua jenis aliran selama proses. Warna air meningkat pada waktu retensi 180 menit, dimana warna air berubah dari gelap menjadi transparan. Peningkatan konsentrasi fosfat terjadi pada kolom NS dan penurunan konsentrasi fosfat terjadi pada kolom S saat waktu retensi 60-180 menit. Kolom terbaik dalam menyisihkan fosfat adalah kolom K4 dimana mampu menghilangkan kadar fosfat sebanyak 70.79 - 74.68%. Konsentrasi fosfat berkorelasi positif sedang ($R^2 = 0.49$) terhadap suhu dan berkorelasi positif lemah ($R^2 = 0.14$) terhadap pH selama proses.

Kata Kunci : non sirkulasi, sirkulasi, tempurung kelapa, warna air limbah laundry

ABSTRACT

Economic growth leads to the development of a community lifestyle, one of that is a frequent community of changing clothes. The number of one person laundry per week is approximately 6 kg (Faaij et al, 2002). The use of detergent produces laundry waste that can cause water pollution impact due to excessive levels of phosphate in the water. The method of adsorption column is one of the ways to process laundry wastewater. Research is conducted to determine the influence of variations in flow, time and column against temperature, pH, color and phosphate concentrations; and know the influence of granular activated carbon (GAC) based coconut shell in the column against phosphate removal. The adsorption field is executed with a non-circulatory (NS) and a circulation (S) flow. Media adsorption is GAC (11.3 mm²) 200 grams (K1); GAC 4x8 mesh 300 grams (K2); GAC 6x12 Mesh (5.6 mm²) 200 grams (K3) and; GAC 6x12 mesh 300 grams (K4). Sampling is conducted every 60 minutes once for 3 hours. The temperature increase occurs in the NS column and the temperature drop occurs on the S column when the retention time is 60-180 minutes. A decrease in pH occurs on all columns with all types of streams during the process. The water color increases at a retention time of 180 minutes, where the water colour changes from dark to transparent. Increased phosphate concentrations occurred in the NS column and decreased phosphate concentration occurred on the S column when the retention time was 60-180 minutes. The best column in removing phosphate is column K4 where it is able to remove phosphate level

as much as 70.79 – 74.68%. Phosphoric concentrations correlated positively ($R^2 = 0.49$) to temperature and correlated positively weak ($R^2 = 0.14$) against pH during the process.

Keywords : Non circulation, circulation, coconut shell, color of laundry wastewater

PENDAHULUAN

Peningkatan jumlah penduduk dunia saat ini sangat erat kaitannya dengan perkembangan peradaban manusia dalam beraktivitas dan berinteraksi dengan sekitarnya. Setiap tahun terjadi peningkatan jumlah penduduk di Indonesia, dengan perkiraan *United Nations Population Division* menunjukkan bahwa jumlah populasi penduduk di Indonesia adalah 263 juta jiwa. Pertumbuhan penduduk juga diimbangi dengan pertumbuhan ekonomi di Indonesia. Menurut Badan Pusat Statistik (2017) pertumbuhan ekonomi Indonesia meningkat pada kuartal I 2017 dibandingkan pertumbuhan kuartal I 2016 yaitu dari angka 4.92 persen meningkat menjadi angka 5.01 persen. Pertumbuhan ekonomi yang terjadi mampu mempengaruhi perkembangan gaya hidup suatu populasi, salah satunya dalam berpakaian. Berganti-ganti pakaian karena rutinitas maupun hanya untuk mengikuti *trend fashion* merupakan bagian dari gaya hidup modern. Peristiwa ini menyebabkan peningkatan jumlah *laundry* disetiap rumah. Menurut Faaij dkk (2002), jumlah *laundry* satu orang per minggu sebanyak ± 6 kg.

Menurut Triana (2014), *laundry* atau binatu adalah kata benda yang mengacu pada tindakan pencucian pakaian untuk proses pencucian sedang dilakukan atau yang telah dicuci. Sama halnya dengan kegiatan di bidang lainnya, kegiatan *laundry* ini akan menghasilkan limbah. Limbah kegiatan *laundry* yang tidak diolah terlebih dahulu berpotensi menimbulkan pencemaran air karena penggunaan deterjen. Salah satu parameter pencemar yang paling umum ditemukan di air limbah *laundry* adalah fosfat. Limbah *laundry* yang dihasilkan oleh penggunaan deterjen mengandung fosfat yang tinggi. Fosfat ini berasal dari *Sodium Tripolyphosphate (STPP)* yang merupakan

salah satu bahan yang kadarnya besar dikandung dalam deterjen (Hera, 2003). Kandungan fosfat berlebih di dalam badan air dapat menyebabkan gangguan ekosistem ikan, eutrofikasi dan berbahaya bagi kesehatan manusia. Pengolahan air limbah *laundry* dirasa penting mengingat bahwa jumlah fosfat berlebih berpotensi mencemari lingkungan (Oktorina, 2016).

Salah satu bentuk pengolahan air limbah *laundry* yaitu dengan menggunakan metode adsorpsi. Menurut Sitorus dan Desiani (2014), adsorpsi merupakan peristiwa penyerapan suatu substansi pada permukaan zat padat. Pada proses adsorpsi dikenal istilah adsorban dan adsorbat. Adsorban adalah zat pengadsorpsi. Adsorbat adalah zat teradsorpsi. Penelitian ini memanfaatkan adsorban berupa *Granular Activated Carbon (GAC)* yang terbuat dari tempurung kelapa berukuran 4x8 dan 6x12 mesh sebanyak 200 dan 300 gram. Penelitian dilaksanakan untuk mengetahui pengaruh variasi aliran, waktu dan kolom terhadap suhu, pH, warna dan konsentrasi fosfat; serta mengetahui pengaruh kombinasi GAC berbahan dasar tempurung kelapa (ukuran dan massa) dalam kolom terhadap *removal* fosfat.

BAHAN DAN METODE

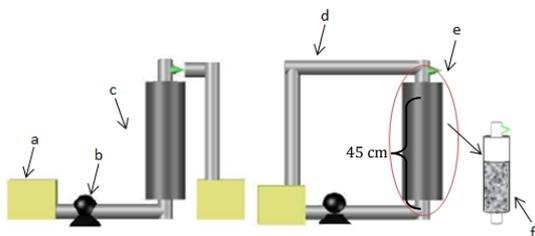
Aktivasi GAC

Media adsorpsi yang digunakan adalah *granular activated carbon* yang berasal dari tempurung kelapa berukuran 4x8 mesh (11.3 mm^2) dan 6x12 mesh (5.6 mm^2). Aktivasi GAC menggunakan NaOH 25% selama 24 jam untuk setiap 50 gram GAC. GAC kemudian dicuci menggunakan aquades, ditiriskan, lalu dijemur sesaat. Pencucian dengan aquades dilakukan untuk menghilangkan zat pengotor.

Pembuatan Kolom Adsorpsi

Kolom adsorpsi terbuat dari PVC dengan diameter luar 2" (50.80 mm). PVC yang digunakan termasuk dalam kelas D

(sedang) dengan ketebalan 1.5 mm. Ketinggian kolom yaitu 450 mm. Terdapat 4 kolom adsorpsi yang berisi GAC 4x8 mesh 200 g (K1); 4x8 mesh 300 g (K2); 6x12 mesh 200 g (K3); dan 6x12 mesh 300 g (K4).



Gambar 1. Rangkaian kolom adsorpsi (a) bejana, (b) pompa, (c) kolom, (d) pipa penghubung, (e) kran dan (f) GAC

Rangkaian kolom adsorpsi dilengkapi dengan bejana 5 L, pompa (*Recent AA881*), pipa penghubung, dan kran. Rangkaian kolom adsorpsi menggunakan aliran non sirkulasi (NS) dan sirkulasi (S). Pada rangkaian NS digunakan 2 bejana sebagai wadah *influent* dan *effluent* air limbah. Pada rangkaian S, hanya menggunakan 1 bejana sebagai wadah *influent* maupun *effluent* air limbah. Pompa berfungsi untuk memompa air dari bejana menuju kolom, mengingat bahwa aliran yang digunakan yaitu *upflow*. Pipa penghubung berdiameter luar $\frac{1}{2}$ inci (12.70 mm) digunakan untuk menghubungkan bejana dengan pompa dan pompa dengan kolom pada sistem NS, sedangkan pada sistem S dipasang juga pipa penghubung dari kolom menuju bejana. Kran digunakan untuk mengatur laju alir air yang keluar, sehingga air limbah pada kolom NS mencukupi hingga 180 menit. Kran berdiameter $\frac{1}{2}$ inci, dipasang 50 mm di atas kolom.

Pembuatan Limbah Laundry

Air limbah *laundry* yang digunakan merupakan air limbah buatan. Pembuatan limbah *laundry* dilakukan dengan cara mencuci 2 kg pakaian dengan 261 g deterjen dalam 30 L air. Perlakuan diulangi hingga mendapatkan 140 L air limbah *laundry*.

Operasi Kolom Adsorpsi

Metode penelitian yaitu eksperimental laboratoris. Rancangan penelitian yang digunakan yaitu Rancangan Acak

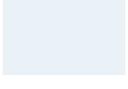
Kelompok (RAK). Penelitian dilakukan dalam skala laboratorium dengan tiga kali pengulangan.

Kolom NS dijalankan dengan cara memompa air limbah dari bak *influent* menuju kolom, kemudian hasil pengolahannya ditampung di dalam bak *effluent*. Laju alir diatur menjadi 22.5 ml.menit⁻¹. Dalam waktu 60 menit, kolom mampu mengolah 1.3 L air limbah.

Kolom S dijalankan dengan cara memompa air limbah dari bak *influent* menuju kolom, kemudian hasil pengolahannya ditampung kembali di bak *influent* lalu dipompakan kembali menuju kolom. Laju alir diatur menjadi 66.6 ml.menit⁻¹. Dalam waktu 60 menit, kolom mampu mengolah 3.9 L air limbah.

Sampel air limbah diambil sebanyak 330 ml air limbah dari bejana *effluent* untuk masing-masing kolom yang digunakan pada menit ke-60, 120 dan 180. Sampel diukur suhu, pH, warna dan konsentrasi fosfat. Pengukuran suhu menggunakan termometer raksa. Pengukuran pH menggunakan pH meter. Pengamatan warna menggunakan *color chart*. Analisis laboratorium kadar fosfat (P₂O₄) air limbah *laundry* dilakukan di Laboratorium Uji Kualitas Air Perum Jasa Tirta Malang.

Tabel 1. Color chart identifikasi warna

Warna	Nilai	Warna	Nilai
	0		5
	1		6
	2		7
	3		8
	4		9

Analisis Statistik dan Analisis Data

Data suhu, pH, warna dan konsentrasi fosfat yang diperoleh akan dianalisis secara statistik menggunakan ragam atau sidik ragam *one way analysis of variance* (ANOVA) menggunakan aplikasi *minitab 18*. Apabila hasilnya beda nyata akan dilakukan uji lanjut LSD dengan fisher pada $\alpha = 5\%$. Apabila dihasilkan tidak berbeda nyata maka dari keseluruhan perlakuan tidak ada perbedaan. Tahap analisa data yang dilakukan meliputi menganalisa pengaruh variasi aliran (NS dan S), variasi waktu (60, 120 dan 180 menit), variasi kolom (K1, K2, K3 dan K4) terhadap suhu, pH, warna dan konsentrasi fosfat. Perhitungan *removal* fosfat, dan analisa pengaruh kombinasi GAC (ukuran dan massa) terhadap *removal* fosfat juga dilakukan.

$$Removal = \frac{kadar\ awal - kadar\ akhir}{kadar\ awal} \times 100\%.(1)$$

HASIL DAN PEMBAHASAN

Karakteristik Awal Limbah Laundry

Limbah cair *laundry* yang digunakan merupakan air hasil cucian pertama, tanpa pengenceran dan tanpa bahan tambahan lain seperti pewangi dsb. Hasil pengujian menunjukkan bahwa air limbah laundry bersuhu 30°C; memiliki pH 10.9; warna bernilai 3 dan kadar fosfat 159.32 mg.L⁻¹. Warna dalam limbah laundry dapat disebabkan material yang terkandung dalam limbah salah satunya adalah zat pengotor pakaian (Setyobudiarso, 2014). Nilai fosfat (P₂O₄) dalam air limbah *laundry* buatan melebihi baku mutu yang diizinkan oleh Peraturan Gubernur Jawa Timur No. 72 tahun 2013 yaitu sebesar 10 mg.L⁻¹.

Perubahan Suhu Selama Proses

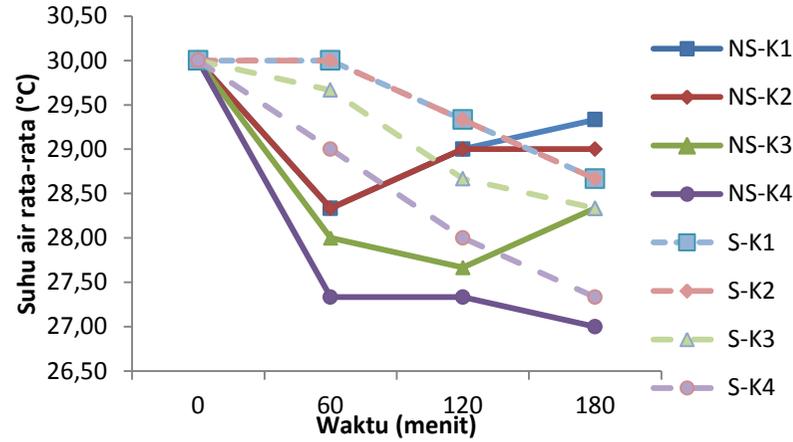
Peningkatan suhu yang terjadi di beberapa titik pada kolom dengan aliran NS dapat dipengaruhi oleh tingkat adsorpsi yang terjadi. Naiknya suhu pada kolom NS-K1 dan NS-K2 saat waktu retensi 120 menit dapat dipengaruhi oleh ukuran karbon yang digunakan yaitu lebih besar dibandingkan dengan kedua kolom lainnya. Semakin besar ukuran karbon aktif (mesh kecil) maka akan semakin kecil luas permukaannya sehingga tingkat adsorpsi

juga semakin kecil, karena tempat bagi polutan untuk melekat di permukaan GAC sedikit. Peningkatan suhu yang terjadi pada kolom NS-K1 dan NS-K3 dengan waktu retensi 180 menit dapat dipengaruhi oleh massa GAC yang digunakan lebih sedikit dibandingkan dengan kolom lainnya. Bertambahnya jumlah adsorben sebanding dengan bertambahnya jumlah luas permukaan adsorben sehingga menyebabkan jumlah tempat mengikat polutan juga bertambah dan efisiensi penyisihan pun meningkat.

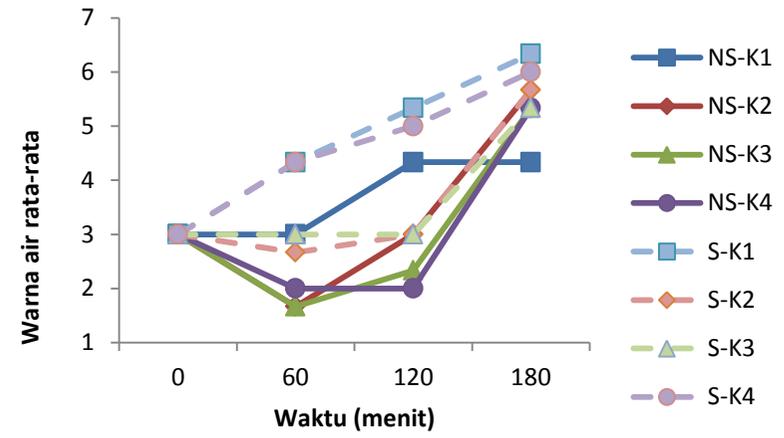
Perubahan temperatur yang terjadi pada kolom dengan aliran NS dan S berbeda nyata (P-value < 0.05), dimana suhu air rata-rata tertinggi terjadi pada kolom S secara signifikan. Tingginya suhu pada kolom S dipengaruhi oleh pergerakan massa air selama proses, menyebabkan kandungan oksigen terlarut (DO) di dalam air menurun, sehingga aktivitas mikroorganisme kecil, akibatnya temperatur air limbah meningkat. Menurut Odum (1971), kecepatan difusi oksigen dari udara dipengaruhi oleh pergerakan massa air seperti *arcs* dan gelombang, semakin banyak pergerakan massa air yang terjadi maka akan semakin lambat proses difusi udara, sehingga kadar oksigen terlarut dalam air akan menurun dengan semakin tingginya suhu. Berdasarkan waktu pengamatan, terjadi perubahan suhu pada waktu retensi 60-180 menit tetapi tidak berbeda signifikan. Berdasarkan variasi kolom yang digunakan menunjukkan adanya pengaruh beda nyata terhadap temperatur air. Suhu terendah terjadi pada kolom K4 yang signifikan, terjadi akibat kolom K4 berisi GAC dengan massa yang paling banyak dan ukuran yang paling kecil, sehingga tingkat adsorpsi yang terjadi lebih besar, hal ini menyebabkan suhu air limbah pada kolom K4 turun.

Perubahan pH Selama Proses

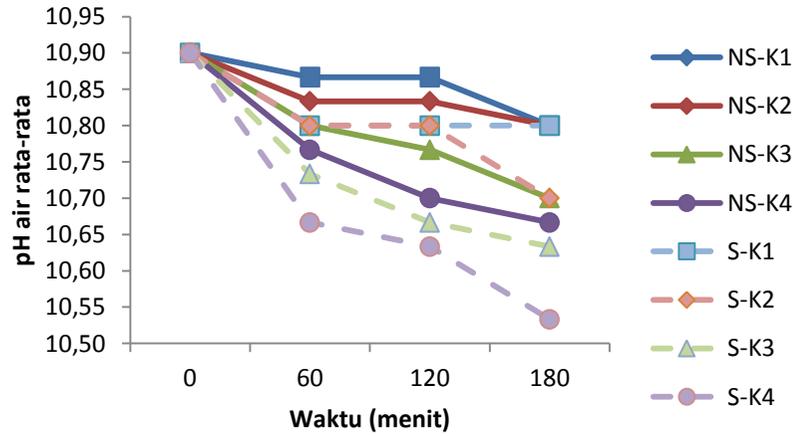
Cenderung terjadi penurunan pH pada setiap kolom. Penurunan pH yang terjadi pada NS-K1 dan NS-K2 memiliki pola yang sama dengan S-K1 dan S-K2, dimana pH turun saat waktu retensi 60 dan 180 menit, berbeda dengan kolom K3 dan K4 pada semua jenis aliran yang turun sepanjang proses.



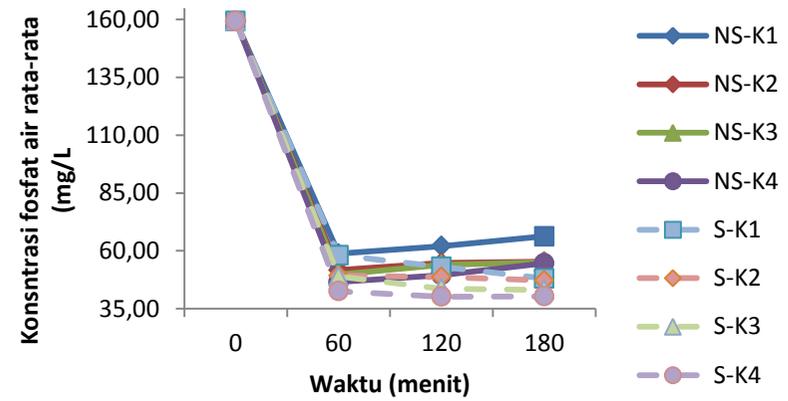
Gambar 2. Perubahan suhu



Gambar 4. Perubahan warna



Gambar 3. Perubahan pH



Gambar 5. Perubahan kadar fosfat

Tabel 2. Pengaruh variasi aliran, waktu, dan kolom terhadap suhu, pH, warna dan kadar fosfat air limbah laundry

	Faktor	Suhu (°C)	pH	Warna	Fosfat (mg.L ⁻¹)
Aliran	Non sirkulasi (NS)	28,2 b	10,78 a	3,4 b	54,8 a
	Sirkulasi (S)	28,9 a	10,71 b	4,5 a	46,9 b
Waktu	60 menit	28,8 a	10,78 a	2,8 c	50,7 a
	120 menit	28,5 a	10,76 b	3,5 b	50,8 a
	180 menit	28,3 a	10,70 c	5,5 a	51,2 a
Kolom	K1	29,1 a	10,82 a	4,6 a	57,7 a
	K2	29,1 a	10,79 a	3,6 bc	51,1 b
	K3	28,4 a	10,72 b	3,4 c	49,1 bc
	K4	27,7 b	10,66 c	4,1 b	45,6 b

Hal tersebut dapat disebabkan oleh ukuran GAC kolom K1 dan K2 semua aliran lebih besar dibandingkan kedua kolom lainnya. Berdasarkan massa GAC yang digunakan pada kolom K1 dan K3 lebih sedikit dibandingkan K2 dan K4, perubahan pH yang terjadi pada kolom K1 dan K3 memiliki rentang yang lebih pendek dibandingkan dengan range penurunan pH yang terjadi pada kolom lainnya. Pada waktu retensi 60 menit, penurunan pH yang terjadi pada NS-K1 dan NS-K3 sebesar 0.03 - 0.1 sedangkan pada NS-K2 dan NS-K4 sebesar 0.07 - 0.13. Hal tersebut juga terjadi pada menit-menit setelahnya baik aliran NS maupun S, dimana penurunan pH terbesar terjadi pada kolom K2 dan K4. Pada menit ke-180, penurunan pH kolom S-K1 dan S-K3 sebesar 0.1 - 0.27 berbeda dengan kolom S-K2 dan S-K4 sebesar 0.2 - 0.37. Tingginya pH pada air limbah laundry disebabkan oleh muatan ion hidroksida (OH^-) yang berasal dari komponen pembentuk deterjen (Pisceselia, 2016). Pada proses adsorpsi air limbah laundry, karbon aktif akan menyerap anion yang ada sehingga kandungan OH^- pada air limbah berkurang, akibatnya pH pada air limbah menurun (Wardhana, 2014). Faktor yang mempengaruhi kelancaran adsorpsi dalam menurunkan anion pada polutan antara lain ukuran dan massa karbon aktif yang digunakan (Ramadhan, 2014). Menurut Istigfarini *dkk* (2017), karbon aktif dengan ukuran partikel yang besar dengan massa yang sedikit menyebabkan ruang bagi polutan untuk melekat pada karbon aktif sedikit, hal ini disebabkan oleh kecilnya dan sedikitnya

jumlah luas permukaan yang ada, sehingga proses adsorpsi yang terjadi juga tidak akan besar, menyebabkan pH pada air limbah relatif stabil (tidak mengalami penurunan atau peningkatan yang drastis).

Perubahan pH selama proses diamati berdasarkan faktor aliran, waktu dan kolom. Ketiga faktor tersebut menunjukkan adanya pengaruh beda nyata terhadap pH rata-rata air limbah pada taraf kepercayaan 95%. Berdasarkan faktor aliran, rata-rata pH terendah terjadi pada kolom aliran S secara signifikan. Berdasarkan waktu pengamatan, rata-rata pH terendah terjadi pada waktu retensi 180 menit yang berbeda signifikan. Rendahnya pH pada kolom S serta saat waktu retensi 180 menit dapat disebabkan oleh proses adsorpsi yang terjadi secara terus-menerus dalam waktu yang lama, sehingga kontak antar air dengan GAC menjadi lebih panjang. Berdasarkan kolom yang digunakan, pH rata-rata air terendah terjadi pada kolom K4 yang berbeda signifikan, disebabkan oleh GAC yang digunakan pada kolom K4 memiliki ukuran lebih kecil dan massa yang lebih besar maka mampu mengikat lebih banyak ion OH^- pada air limbah laundry. pH basa pada air limbah laundry dipengaruhi oleh keberadaan ion hidroksida (OH^-), dengan adanya proses adsorpsi maka ion OH^- akan diserap dan melekat pada permukaan adsorben sehingga tingkat alkalinitas pada air limbah akan turun (Setyobudi, 2016). Tingkat adsorpsi polutan seperti anion-anion penyebab timbulnya ion OH^- dapat dipengaruhi oleh waktu kontak, semakin lama waktu kontak adsorban dengan

adsorbat maka akan semakin panjang kesempatan bagi keduanya berinteraksi, akibatnya akan banyak ion OH^- yang menempel pada permukaan adsorban (Ramadhan, 2014). Selain waktu kontak, massa dan ukuran karbon aktif yang digunakan juga berpengaruh terhadap tingkat adsorpsi, bertambahnya massa GAC sebanding dengan bertambahnya jumlah partikel dan luas permukaan adsorben menyebabkan jumlah tempat mengikat kontaminan seperti anion-anion juga bertambah dan efisiensi penyisihan pun meningkat (Adiningtyas & Mulyono, 2016).

Perubahan Warna Selama Proses

Pada waktu retensi 60 menit, semua kolom aliran NS mengalami penurunan warna kecuali NS-K1 yang tidak berubah sejak 0 menit, sedangkan kolom dengan aliran S meningkat kecuali S-K2. Peningkatan warna terjadi setelah 60 menit, dimana semua kolom baik dengan aliran NS maupun S cenderung mengalami peningkatan warna hingga bernilai 5 (*transparent*). Nilai warna naik kembali pada waktu retensi 180 menit untuk semua kolom kecuali NS-K1 yang tidak berubah. Perubahan warna yang terjadi pada menit-180 berada pada kisaran 4.3 - 6.3 dimana perubahan tertinggi terjadi pada kolom S-K1. Turunnya warna menjadi kehitaman pada beberapa titik di kolom NS dan S dapat disebabkan oleh zat pengotor hasil aktivasi GAC yang terbawa saat proses berlangsung. Menurut Setyobudiarso (2014), adsorpsi menggunakan karbon aktif berpengaruh terhadap reduksi warna pada air limbah *laundry*, perbedaan konsentrasi warna akhir disebabkan semakin tingginya warna yang mampu diserap oleh karbon aktif akibat deposisi pori-pori antar partikel karbon aktif, semakin tinggi warna yang mampu diserap maka akan semakin kecil konsentrasi warna akhir (tak berwarna).

Perubahan warna yang terjadi dianalisis berdasarkan faktor aliran, waktu dan kolom selama pengamatan. Pada alpha 5% terjadi pengaruh beda nyata antara ketiga faktor tersebut terhadap warna. Berdasarkan faktor jenis aliran, perubahan warna tertinggi terjadi pada kolom S dengan beda signifikan terhadap NS. GAC

pada kolom dengan aliran S mampu melakukan kontak berulang kali dengan air limbah. Berdasarkan waktu pengamatan, perubahan warna tertinggi terjadi pada 180 menit secara signifikan. Sama halnya dengan jenis aliran, perubahan warna yang terjadi dari waktu ke waktu disebabkan oleh waktu kontak GAC dengan polutan. Semakin lama waktu kontak maka akan semakin transparan warna air limbah yang dihasilkan.

Perubahan Konsentrasi Fosfat Selama Proses

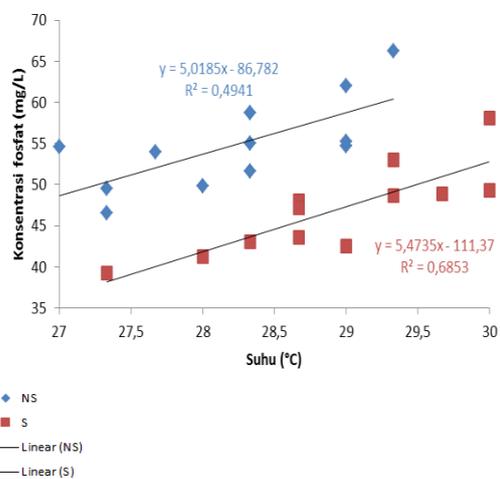
Jenis aliran yang digunakan serta lama waktu kontak GAC dengan limbah dapat mempengaruhi konsentrasi fosfat. Kolom dengan aliran NS cenderung menunjukkan peningkatan kadar fosfat, sedangkan kolom dengan aliran S cenderung menunjukkan penurunan konsentrasi fosfat pada waktu retensi 60-180 menit. Melihat fakta bahwa adsorpsi terbesar terjadi pada 60 menit pertama menunjukkan bahwa GAC yang digunakan sudah mendekati jenuh. Apabila GAC yang digunakan mendekati jenuh, maka yang terjadi adalah proses adsorpsi yang berlangsung hanya baik pada menit-menit awal. Penurunan konsentrasi fosfat pada kolom S terjadi akibat proses sirkulasi itu sendiri dimana kandungan fosfat air limbah yang sudah berkurang akan dibawa lagi menuju bejana influent untuk diproses ulang, sehingga konsentrasinya akan semakin turun mengingat bahwa waktu atau kesempatan bagi polutan melekat pada permukaan GAC lebih besar dibandingkan dengan aliran NS. Meski begitu, karena kondisi GAC yang mendekati jenuh menyebabkan penurunan konsentrasi fosfat yang terjadi tidak signifikan. Menurut Kusumo dan Razif (2016), untuk mereduksi surfaktan menggunakan GAC dengan waktu kontak 5 - 15 jam, *removal* terbesar terjadi pada 5 jam pertama, sedangkan pada 5 jam berikutnya terjadi penurunan *removal* akibat kondisi GAC yang hampir jenuh.

Perubahan konsentrasi fosfat selama proses diamati berdasarkan faktor aliran, waktu dan kolom. Berdasarkan faktor aliran dan kolom terjadi kondisi beda nyata, dimana konsentrasi fosfat tertinggi terjadi pada kolom dengan aliran NS yang

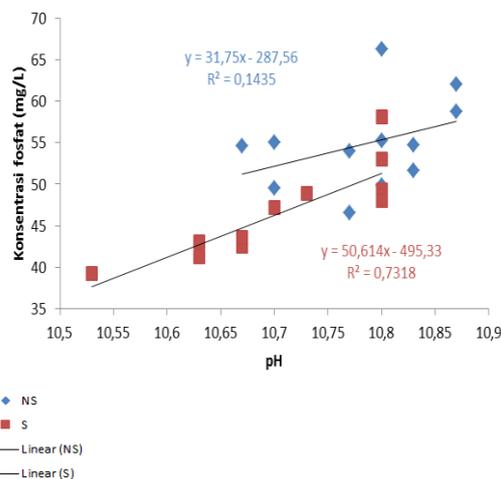
berbeda signifikan. Proses sirkulasi menyebabkan air limbah laundry dapat melakukan kontak dengan GAC berulang kali, sehingga air limbah dengan kadar fosfat yang telah turun akan diproses lagi di dalam kolom sehingga hasil effluent memiliki kadar fosfat yang lebih kecil daripada sebelumnya. Semakin lama kontak yang berlangsung maka akan semakin rendah kadar fosfat air limbah. Kemampuan GAC tertinggi dalam menyerap fosfat hanya baik saat 60 menit pertama, selanjutnya terjadi peningkatan kadar fosfat. Hal tersebut mengindikasikan bahwa adsorpsi cukup dilakukan pada saat 60 menit saja. Peningkatan kadar fosfat yang terjadi akibat berkurangnya sisi aktif pada suatu permukaan GAC dari waktu ke waktu. Jumlah sisi aktif terbanyak terjadi pada menit 60 karena belum ada kontak air limbah dengan GAC sebelumnya, setelah kontak berlangsung maka sisi aktif akan berkurang akibat telah menyerap fosfat di menit-menit sebelumnya. Konsentrasi fosfat terendah terjadi pada kolom K4 secara signifikan terhadap kolom lainnya. Kolom K4 memiliki massa GAC yang paling banyak dengan ukuran partikel yang paling kecil, menyebabkan jumlah sisi aktif yang mampu menyerap sorbat lebih banyak, akibatnya konsentrasi fosfat pada air limbah yang diproses dengan kolom K4 paling kecil. Tingkat adsorpsi akan naik seiring dengan bertambahnya massa dan berkurangnya ukuran GAC yang digunakan.

Konsentrasi fosfat memiliki korelasi positif dengan tingkat korelasi yang sedang terhadap suhu ($R^2 = 0.40 - 0.59$). Semakin tinggi suhunya maka semakin besar konsentrasi fosfatnya, sebaliknya semakin rendah suhunya maka semakin sedikit konsentrasi fosfatnya. Hal tersebut disebabkan oleh melambatnya laju adsorpsi seiring dengan peningkatan suhu. Menurut Reynold (1982), adsorpsi adalah reaksi eksoterm maka dari itu tingkat adsorpsi umumnya meningkat seiring dengan menurunnya suhu. Pada umumnya, naiknya suhu menyebabkan berkurangnya kemampuan adsorpsi (Jannatin, 2016). Molekul adsorban mempunyai energi yang lebih besar dibandingkan dengan adsorbatnya,

menyebabkan energi adsorban akan keluar dari permukaan, sehingga daya adsorpsinya menurun.



(A)



(B)

Gambar 6. Hubungan perubahan konsentrasi fosfat dengan suhu (A); pH (B)

Derajat keasaman memiliki korelasi positif dengan tingkat korelasi yang sangat rendah ($R^2 = 0.00 - 0.19$) terhadap konsentrasi fosfat pada air limbah. Semakin tinggi pH maka semakin besar konsentrasi fosfat dan sebaliknya. pH basa pada air limbah disebabkan oleh *polyphosphate* dalam deterjen. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pH berada pada kisaran 10.5 – 10.9 atau masih masuk dalam kategori basa. Dalam suasana basa, GAC yang diaktivasi dengan NaOH mampu mengikat anion pada fosfat, sehingga konsentrasi fosfat pada air limbah berkurang. Menurut Ristiana dkk (2009),

penyerapan konsentrasi fosfat bergantung pada pH yang tinggi. Gugus fungsi adsorben cenderung bermuatan positif pada pH tinggi sehingga cenderung untuk menerima ion fosfat sehingga terjadi peningkatan sorpsi fosfat.

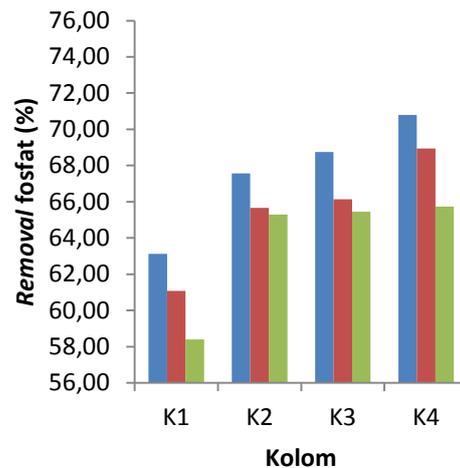
Removal Fosfat

Removal fosfat mengalami penurunan pada waktu retensi 60-180 menit pada kolom NS, berbeda dengan kolom S yang mengalami peningkatan *removal*. *Removal* terbesar terjadi pada menit 60 pertama pada aliran NS, dan pada waktu retensi 180 menit pada aliran S. Proses adsorpsi dengan aliran NS bekerja maksimal pada 60 menit pertama sehingga sebaiknya proses adsorpsi berhenti pada waktu retensi 60 menit untuk semua kolom. Pada kolom dengan aliran S, terjadi peningkatan *removal* dari waktu ke waktu. Kolom K1 aliran S mengalami peningkatan *removal* sepanjang proses sehingga operasi kolom K1 berhenti pada waktu retensi 180 menit. *Removal* kolom K2-S dari waktu ke waktu tidak menunjukkan peningkatan yang signifikan, sehingga operasi kolom K2 cukup pada menit 60 pertama. Kolom K3 juga mengalami peningkatan *removal* selama 180 menit, peningkatan yang terjadi pada waktu retensi 60 menuju 120 menit signifikan, sedangkan dari 120 menuju 180 menit tidak signifikan, sehingga proses adsorpsi cukup pada menit 120. Peningkatan *removal* kolom K4 tidak menunjukkan hasil yang signifikan pada waktu retensi 60-180 menit, proses adsorpsi pada kolom K4 cukup sampai 60 menit pertama.

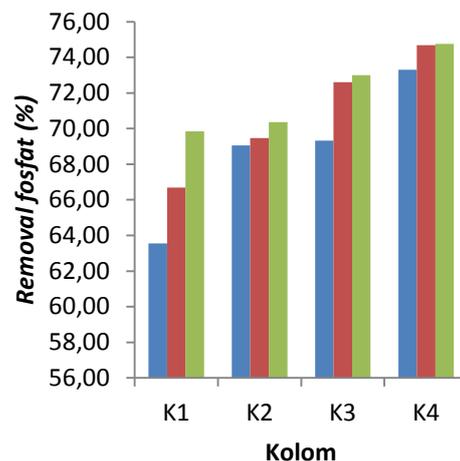
Proses adsorpsi menggunakan aliran S menghasilkan *removal* yang lebih besar dibandingkan dengan NS. *Removal* terbesar terjadi pada kolom K4-S dengan waktu retensi 180 menit sebesar 74.7% sedangkan yang terendah terjadi pada kolom K1-NS saat waktu retensi 60 menit yaitu 58.4%. Semakin lama kontak yang berlangsung maka akan semakin rendah kadar fosfat air limbah.

Removal fosfat yang terjadi dapat dipengaruhi oleh massa GAC yang diinstallkan di dalam kolom. Dilihat dari banyaknya massa yang digunakan, kolom K2 dan K4 (300 g) memiliki *removal* yang

lebih besar dibandingkan dengan kolom lainnya yang memiliki ukuran partikel sama. Konsentrasi fosfat berbanding terbalik dengan *removal* dan massa GAC yang digunakan. Semakin banyak massa GAC yang diinstallkan dengan ukuran GAC yang sama maka akan semakin tinggi *removal*-nya sehingga konsentrasi fosfat berkurang. Menurut Barros *dkk* (2003), saat ada peningkatan massa adsorben maka ada peningkatan presentase efisiensi penyisihan.



Gambar 7. *Removal* fosfat pada aliran NS



Gambar 8. *Removal* fosfat pada aliran S

Ukuran partikel GAC yang digunakan dapat mempengaruhi besar *removal*. Kolom K3 dan K4 memiliki *removal* yang lebih besar dibandingkan kolom K1 dan K2. Ukuran partikel berbanding terbalik dengan *removal* fosfat. Semakin kecil

ukurannya maka akan semakin luas permukaannya, sehingga ruang bagi polutan untuk menempel semakin besar, menyebabkan *removal* fosfat besar dan konsentrasi akhir fosfat kecil. Menurut Handiyatmo (1999), semakin kecil ukuran partikel adsorben maka semakin banyak adsorbat yang terserap. Adsorben dengan pori-pori yang lebih banyak memiliki kemampuan mengakumulasi adsorbat pada permukaan pori adsorban akan lebih besar. Menurut Hudaya & Wiratama (2016), salah satu kriteria yang harus diperhatikan untuk menetapkan suatu adsorban yaitu pori. Adsorben dengan pori-pori yang lebih banyak memiliki kemampuan mengakumulasi adsorbat pada permukaan pori adsorban akan lebih besar. Salah satu adsorben yang memiliki jumlah pori banyak adalah karbon aktif dengan bahan baku tempurung kelapa.

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan antara lain :

1. Peningkatan suhu pada kolom NS dan penurunan suhu pada kolom S terjadi pada waktu retensi 60-180 menit, namun perubahannya tidak signifikan. Suhu air terendah terjadi pada kolom S signifikan terhadap kolom NS. Kolom K4 memiliki suhu air terendah secara signifikan terhadap ketiga kolom lainnya.
2. Penurunan pH terjadi pada semua kolom dengan semua jenis aliran selama proses. pH terendah pada kolom S signifikan terhadap kolom NS pada waktu retensi 180 menit. pH air terendah terjadi pada kolom K4 dimana perubahannya signifikan terhadap ketiga kolom lainnya.
3. Warna air meningkat pada waktu retensi 180 menit, dimana warna air berubah dari gelap menjadi transparan. Kolom dengan aliran S dan waktu retensi 180 menit memiliki warna tertinggi signifikan terhadap kolom NS.
4. Penurunan konsentrasi fosfat secara signifikan pada kolom S, berbeda dengan kolom NS pada waktu retensi 60-180 menit. Konsentrasi fosfat terendah signifikan juga terjadi pada kolom K4 dibanding ketiga kolom lainnya.
5. Kolom K4 menyisihkan fosfat pada air limbah *laundry* sebesar 112.78 – 118.97 mg/L atau mampu menghilangkan kadar fosfat sebanyak 70.79 – 74.68% dimana pada kolom ini ukuran GAC yang digunakan yaitu 6x12 mesh dengan massa 300 gram.
6. Konsentrasi fosfat memiliki korelasi positif dengan tingkat sedang ($R^2=0.49$) terhadap suhu, dan rendah ($R^2 = 0.14$) terhadap pH selama proses. Semakin tinggi konsentrasi fosfatnya maka akan semakin tinggi pula suhu dan pH air limbah *laundry*.

DAFTAR PUSTAKA

- Adiningtyas A. & Mulyono P. 2016. Kinetika adsorpsi nikel (II) dalam larutan aqueous dengan karbon aktif arang tempurung kelapa. Universitas Gadjah Mada. *Jurnal Rekaya Proses*. 10(2), 36-42.
- Badan Pusat Statistik. 2017. *Penduduk Indonesia: Hasil Sensus Penduduk 2017*. Badan Pusat Statistik. Jakarta.
- Barros J.L.M., Macedo G.R., Duarte M.M.L., Silva E.P., Lobato A.K.C.L. 2003. Biosorption of cadmium using the fungus *aspergillus niger*. *Brazilian Journal of Chemical Engineering*. 20(3) 2-16.
- Faiij A.J. & Kok M. 2002. *Global Warming and Social Innovation: The Challenge of a Climate Neutral Society*. Earthscan Publication Ltd. New York
- Handiyatmo, E.T. 1999. *Adsorpsi Polutan Komponen Ganda Senyawa Fenol (2,4 DCP dan Fenol) dengan Zeolit*. Universitas Gadjah Mada. Yogyakarta
- Hera. 2003. *Sodium Tripolyphosphate, Human & Environmental Risk Assessment on Ingredients of European Household Cleaning Products*. London
- Hudayana T. & Wiratama I.G.P. 2016. *Perancangan Kolom Adsorpsi Karbon Aktif Pengolahan Limbah Kromium Heksavalen*. Universitas Katolik Parahyangan. Bandung
- Istighfarini S.A.E., Daud S., Edward H. 2017. Pengaruh massa dan ukuran partikel adsorben sabut kelapa

- terhadap efisiensi penyisihan fe pada air gambut. *Jom FTEKNIK*. 4(1)
- Jannatin R.D., Razif M., Mursid M. 2016. *Uji Efisiensi Removal Adsorpsi Arang Batok Kelapa Untuk Mereduksi Warna Dan Permanganat Value Dari Limbah Cair Industri Batik*. Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Surabaya
- Odum E.P. 1971. *Fundamental of Ecology*. 3rd Edition. W.B. Saunders. Philadelphia
- Oktorina A.R. 2016. *Analisis Kadar Fosfat Setelah Perlakuan Berbagai Ketebalan Karbon Aktif Pada Limbah Cair Pencucian Pakaian (Laundry) Di Kelurahan Tanjung Sari Kecamatan Medan Selayang*. Universitas Sumatera Utara. Medan
- Peraturan Gubernur Jawa Timur Nomor 72 Tahun 2013 Tentang Baku Mutu Air Limbah Bagi Industri dan/Atau Kegiatan Usaha Lainnya.
- Ramadhan K.G.S.M.A. 2014. *Pengaruh Waktu dan Temperatur Pengadukan terhadap Kualitas Minyak Goreng Bekas Hasil Adsorpsi*. Politeknik Negeri Sriwijaya. Palembang
- Reynold, T.D. 1982. *Unit Operation and Process in Environmental Engineering*. Texas: Wood Worths Inc.
- Ristiana N., Astuti D., Kurniawan T.P. 2009. Keefektifan ketebalan kombinasi zeolit dengan arang aktif dalam menurunkan kadar kesadahan air sumur di Karangtengah Weru Kabupaten Sukoharjo. *Jurnal Kesehatan*. 2(1), 91-102.
- Setyobudi. 2016. *Penurunan Fosfat dengan Penambahan Kapur (Lime), Tawas dan Filtrasi Zeolit pada Limbah Cair*. Universitas Diponegoro. Semarang
- Setyobudiarso H. 2014. Rancang bangun alat penjernih air limbah cair laundry dengan menggunakan media penyaring kombinasi pasir - arang aktif. *Jurnal Nentrino*. 6(2)
- Sitorus O & Desiani. 2014. *Peningkatan Potensi Campuran Serat Sabut Kelapa dan Serbuk Kayu Gergaji Terkativasi H₂SO₄ Sebagai Media Adsorben Zat Warna Terhadap Limbah Kain Songket*. Politeknik Negeri Sriwijaya. Palembang
- Suryawan, Bambang. 2004. *Karakteristik Zeolit Indonesia sebagai Adsorben Uap Air*. Universitas Indonesia. Jakarta
- Triana. 2014. *Peningkatan Kualitas Pelayanan Dengan Integrasi Model Seroqual, Model Kano dan Qfd Di Melia Laundry On Kilo's*. Universitas Atma Jaya Yogyakarta. Yogyakarta
- Wardhana I.W., Handayani D.S., Rahmawati D.I. 2014. Penurunan kandungan phospat pada limbah cair industri pencucian pakaian (laundry) menggunakan karbon aktif dari sampah plastik dengan metode batch dan kontinyu. *Jurnal TEKNIK*. 30(2)