

BAB IV

ANALISIS DAN PEMBAHASAN

4.1 Penjelasan Umum

Tahapan penelitian mengenai pengolahan secara adsorpsi dengan menggunakan lumpur hasil pengolahan PDAM merupakan penelitian lanjutan dari Saudari Zulistia dengan judul penelitian “Kinerja metode enkapsulasi agar dan alginate gel terhadap lumpur hasil pengolahan air pdam tirta binangun yogyakarta sebagai adsorben zat warna methylene blue”. Penelitian tersebut dirasa dapat diteruskan sebagai salah satu sistem pengolahan terhadap limbah deterjen dengan mengkombinasi terhadap system pengolahan fitoremediasi.

Pengolahan secara adsorpsi dilakukan dengan mengenkapsulasi lumpur terlebih dahulu dengan tujuan agar penyerapan yang dihasilkan dapat lebih maksimal. Proses adsorpsi sendiri dilakukan terlebih dahulu dengan mengukur massa dan waktu optimum pengolahan. Untuk Pengolahan secara fitoremediasi, dipilih tanaman eceng gondok (*Eichhornia crassipes*) dikarenakan merupakan salah satu tanaman yang banyak ditemukan di daerah lokal dan juga memiliki efisiensi penyerapan yang terbilang cukup tinggi. Hal tersebut kemudian menjadi dasar pemilihan tanaman dalam pengolahan fitoremediasi dengan alasan kemudahan akses pengambilan dan biaya.

Limbah *laundry* yang akan diolah berasal dari salah satu *outlet* yang berada di Dusun Lodadi, Umbul Martani, Ngemplak, Sleman, Daerah Istimewa Yogyakarta. Limbah yang akan diolah sebelumnya dilakukan pengujian awal untuk mengetahui karakteristik parameter uji terhadap baku mutu yang ada seperti pada Tabel 4.1 berikut :

Tabel 4.1 Karakteristik air limbah (limbah *laundry*)

No	Parameter	Konsentrasi	PP No 81 Tahun 2001		Perda DIY No 7 Tahun 2016	
			Baku Mutu	Satuan	Baku Mutu	Satuan
1	Surfaktan	9-27	0,2	mg/L	5	mg/L
2	COD	365-975	50	mg/L	200	mg/L
3	pH	6,0-7,0	6,0 - 9,0		6,0-9,0	
4	Suhu	27-29		°C	±3 terhadap suhu udara	°C

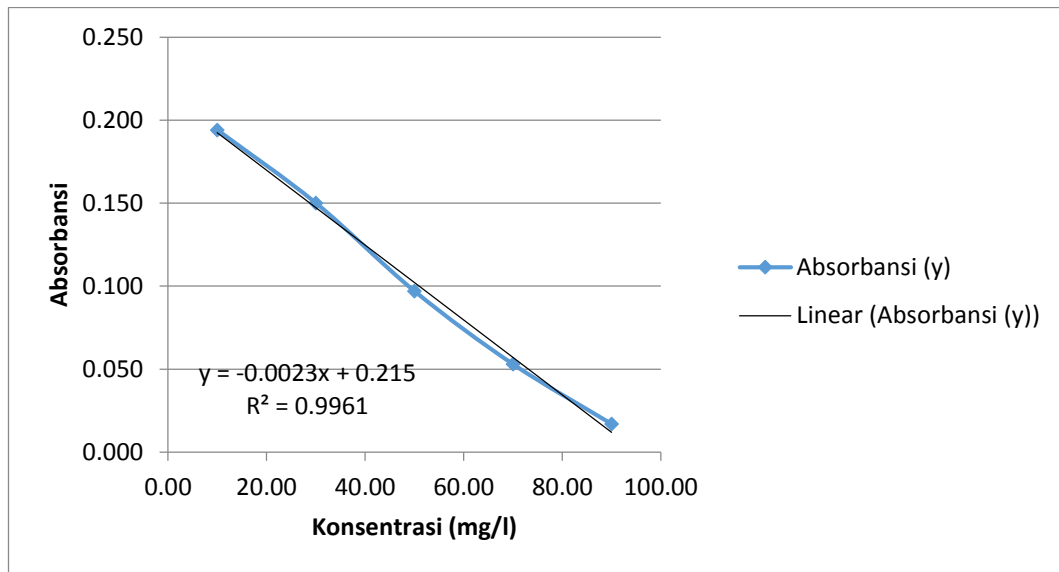
Dari tabel diatas maka dapat dilihat bahwa untuk parameter pH dapat dikatakan telah memenuhi baku mutu yang ada, namun sementara untuk parameter COD dan surfaktan masih berada cukup jauh dari batas aman yang telah ditetapkan. Hal ini kemudian dirasa perlu untuk dilakukan pengolahan secara gabungan dari adsorpsi dan fitoremediasi.

4.2 Pengujian Adsorpsi

Pengujian adsorpsi dilakukan untuk mengetahui massa dan waktu optimum yang dibutuhkan adsorben dalam menyerap COD dan surfaktan pada volume tertentu. Pengujian adsorpsi diawali dengan pembuatan kurva kalibrasi untuk masing-masing parameter COD dan surfaktan sebagai acuan dasar tingkat konsentrasi larutan sampel.

4.2.1 Pembuatan Larutan Standar COD

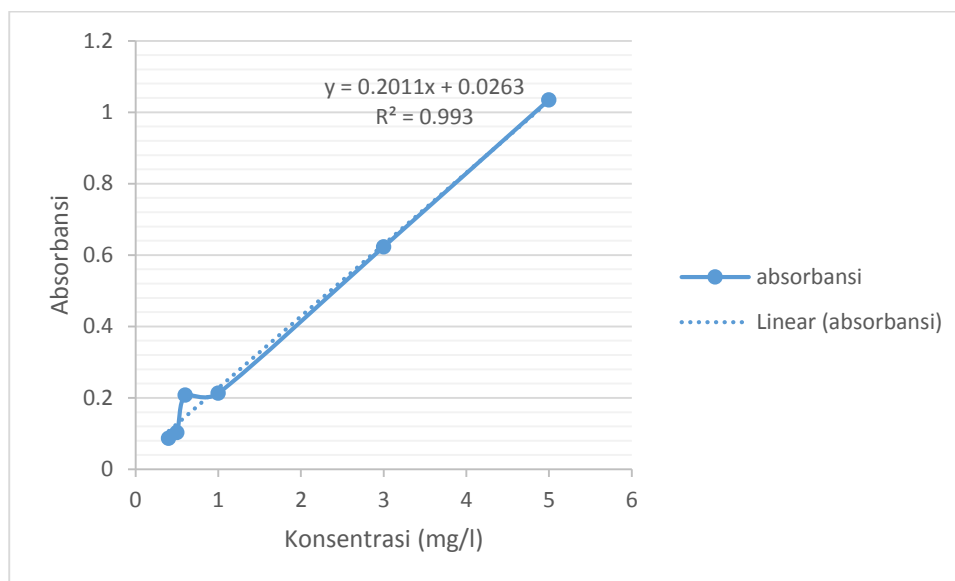
Larutan standar COD (*Chemical Oxygen Demand*) dibuat dari larutan induk KHP. Larutan standar dibuat menjadi 5 larutan pada konsentrasi 10 mg/l, 30 mg/l, 50 mg/l, 70 mg/l dan 90 mg/l. Larutan standar ini kemudian diuji menggunakan spektrofotometer pada panjang gelombang 650 nm untuk mendapatkan nilai adsorbansinya dengan hasil koefisien korelasi mendekati 1 yang menandakan terbentuknya garis lurus linear pada rentang konsentrasi yang dibuat. Larutan standar dibuat untuk menghasilkan kurva standar, yang digunakan untuk mengetahui konsentrasi larutan sampel dari hasil pengukuran. Gambar grafik kurva kalibrasi larutan COD dapat dilihat pada Gambar 4.1.



Gambar 4.1 Kurva Kalibrasi Larutan Standar COD
(sumber : data primer)

4.2.2 Pembuatan Larutan Standar Surfaktan

Larutan standar Surfaktan dibuat dari larutan induk LAS. Larutan standar dibuat menjadi 6 larutan dengan pengenceran 0,4 mg/l; 0,5 mg/l; 0,6 mg/l; 1 mg/l; 3 mg/l dan 5 mg/l. Larutan standar ini kemudian diuji menggunakan spektrofotometer pada panjang gelombang 652 nm untuk mendapatkan nilai adsorbansinya, dengan hasil koefisien korelasi mendekati 1 yang menandakan terbentuknya garis lurus linear pada rentang konsentrasi yang dibuat. Larutan standar dibuat untuk menghasilkan kurva standar, yang digunakan untuk mengetahui konsentrasi larutan sampel dari hasil pengukuran. Berikut adalah gambar grafik larutan standar surfaktan pada Gambar 4.2 :



Gambar 4.2 Kurva Kalibrasi Larutan Standar Surfaktan
(sumber : data primer)

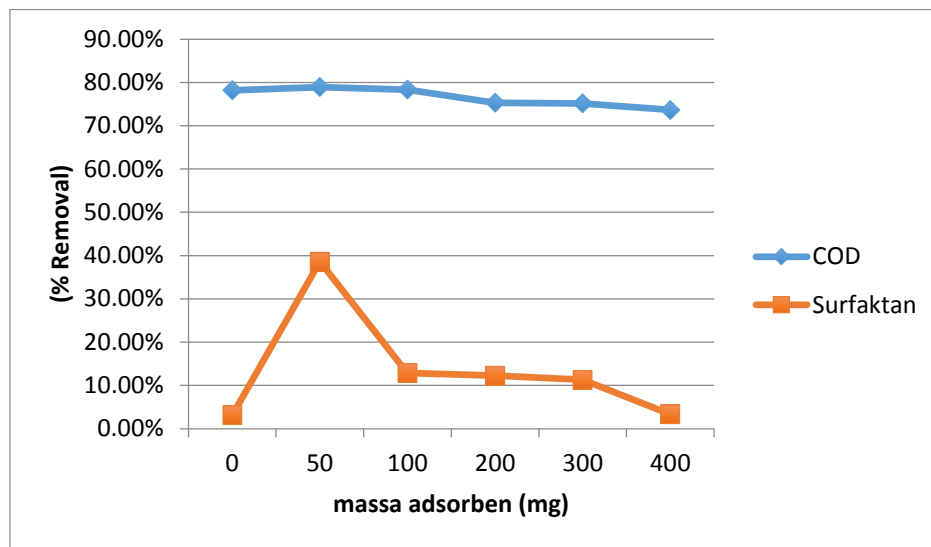
4.2.3 Pengujian Variasi Massa

Pengujian variasi massa dilakukan untuk mengetahui massa adsorben optimum yang digunakan untuk menyerap surfaktan. Kondisi pH awal yang digunakan adalah 6 serta dilakukan pengadukan selama 2 jam dengan kecepatan perputaran 200 rpm pada volume larutan 150 ml. Hasil penelitian ditunjukkan pada Tabel 4.2.

Tabel 4.2 Data variasi massa adsorben

No.	Massa Adsorben (mg)	COD		SURFAKTAN	
		Konsentrasi (mg/L)	% Penurunan	Konsentrasi (mg/L)	% Penurunan
1	Sampel Awal	286,957		9,25	
2	0	62,61	78,18%	8,97	3,12%
3	50	60,43	78,94%	5,68	38,60%
4	100	62,17	78,33%	8,06	12,90%
5	200	70,87	75,30%	8,12	12,26%
6	300	71,30	75,15%	8,21	11,29%
7	400	75,65	73,64%	8,95	3,33%

Sumber : Data Primer, 2017



Gambar 4.3 Hubungan Penambahan Massa Adsorben Terhadap Persentase *Removal* COD dan Surfaktan

Kemampuan penyerapan untuk parameter surfaktan untuk massa adsorben 0 hingga 400 mg cukup fluktuatif, dan didapatkan massa 50 mg sebagai massa ideal untuk adsorben. Penambahan massa adsorben dengan hasil *removal* yang didapatkan tidak selalu berbanding lurus, kondisi fluktuatif ini disebabkan karena telah terjadi kejenuhan saat massa adsorben mencapai angka di atas 50 mg bahkan hingga terjadi desorpsi yang menyebabkan terjadi penurunan *removal* dari 38% menjadi 12% akibat pelepasan kembali kontaminan yang ada dalam adsorben.

Pada parameter COD sendiri hasil *removal* yang didapatkan cukup stabil dari massa 0 hingga 400 mg walaupun mengalami sedikit fluktuatif yang disebabkan karena kondisi adsorben yang telah jenuh sehingga tidak mampu untuk menyerap kontaminan.

4.2.4 Pengujian Variasi Waktu Kontak

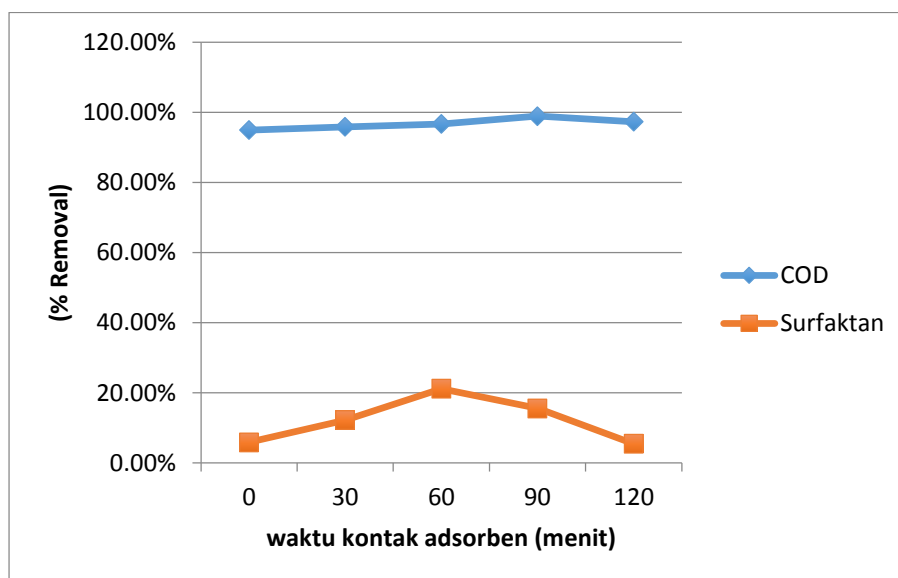
Waktu kontak merupakan salah satu hal yang berpengaruh terhadap proses adsorpsi. Kapasitas penyerapan surfaktan terhadap adsorben lumpur PDAM bervariasi tergantung dengan seberapa lama waktu kontak yang dilakukan. Pengujian variasi waktu kontak menggunakan adsorben dilakukan dengan pengadukan selama 0, 30, 60, 90, dan 120 menit. Proses variasi waktu sendiri

berada pada kondisi pH 6 dengan massa adsorben sebesar 50 mg terhadap volume sampel sebanyak 150 ml. Pengadukan dilakukan dengan *magnetic stirrer* dengan kecepatan 150 rpm. Data hasil penelitian dapat dilihat pada Tabel 4.3

Tabel 4.3 Data Variasi Waktu Adsorben

No	Waktu	COD		Surfaktan	
		Konsentrasi (mg/L)	% Penurunan	Konsentrasi (mg/L)	% Penurunan
1	Sampel Awal	817,39		9,25	
2	0	41,30	94,95%	8,71	5,91%
3	30	33,91	95,85%	8,12	12,26%
4	60	27,39	96,65%	7,29	21,18%
5	90	9,13	98,88%	7,81	15,59%
6	120	22,17	97,29%	8,75	5,48%

Sumber : Data Primer, 2017



Gambar 4.4 Hubungan Variasi Waktu Terhadap Persentase *Removal* COD dan Surfaktan

Data pada Gambar 4.4 menunjukkan bahwa semakin lama waktu kontak tidak selalu meningkatkan presentase penyerapan surfaktan. Presentase penyerapan oleh adsorben untuk parameter surfaktan pada waktu pengadukan selama 60 menit sudah berada pada kisaran 20% dan kemudian mengalami penurunan hingga waktu

pengadukan selama 120 menit. Oleh karena itu, waktu kontak selama 60 menit sudah mampu menyerap surfaktan dengan optimum. Sementara untuk parameter COD sendiri hasil *removal* yang terjadi cenderung lebih stabil dengan kisaran % *removal* 94% sampai 98% dimana angka *removal* tertinggi berada pada waktu kontak selama 90 menit yang kemudian mengalami penurunan pada waktu kontak 120 menit dikarenakan kondisi adsorben yang telah jenuh sehingga kemampuan penyerapannya berkurang.

4.3 Proses Pengolahan Adsorpsi dan Fitoremediasi

Pengolahan secara adsorpsi dilakukan pada massa adsorben sebesar 50 mg dan dengan waktu kontak selama 60 menit, dengan volume total limbah *laundry* yang digunakan sebanyak 50 liter sehingga diperlukan massa adsorben sebesar 16,67 gram pada kecepatan aliran sebesar 0,83 liter/menit. Adsorben yang digunakan sendiri berasal dari lumpur PDAM yang dienkapsulasi dengan *alginate gel*. Proses adsorpsi yang terjadi yaitu adsorpsi secara fisika yang mengandalkan pengikatan molekul adsorbat kedalam pori-pori adsorben sehingga bentuk adsorben yang digunakan berupa bulatan-bulatan kecil untuk meningkatkan jumlah luas permukaan yang ada dalam penyerapan kontaminan.

Pengolahan selanjutnya dari proses adsorpsi yaitu pengolahan secara fitoremediasi yang dilakukan dengan menggunakan tanaman eceng gondok yang sebelumnya telah diaklimatisasi selama seminggu yang bertujuan untuk mengetahui kondisi tanaman yang ada dan juga untuk proses adaptasi terhadap lingkungan baru untuk selanjutnya digunakan sebagai bahan penelitian. Tanaman eceng gondok yang digunakan berasal dari daerah sekitar Pakem, Kaliurang, Sleman, Daerah Istimewa Yogyakarta di suatu kolam bekas peternakan lele yang sudah tidak dipakai, lokasi pengambilan ini dipilih karena berada dekat dengan lokasi penelitian dan memiliki lingkungan yang tidak tercemar sehingga tanaman masih dalam keadaan steril dan tidak terkontaminasi.

Proses pengolahan secara adsorpsi dilakukan sekali pada satu waktu sebelum selanjutnya dilakukan proses pengolahan lanjutan secara fitoremediasi yang berlangsung selama 15 hari, dengan asumsi bahwa pada jangka waktu tersebut

tanaman telah mampu mereduksi kontaminan yang ada hingga batas baku mutu yang telah ditetapkan. Penelitian dilakukan dengan analisis terhadap beberapa parameter uji pada sesi inlet, bak fitoremediasi dan bak kontrol, dimana bak kontrol merupakan air limbah yang telah melalui proses adsorpsi namun tidak dilakukan penambahan perlakuan dan tanpa adanya proses fitoremediasi yang berlangsung.

Proses fitoremediasi yang terjadi berupa proses penyerapan kontaminan pada bagian akar yang kemudian diuraikan oleh mikroba yang hidup di sekitar bagian akar tersebut. Proses penyerapan kemudian berlanjut masuk kedalam seluruh bagian tanaman baik akar, batang maupun daun yang kemudian terurai seiring dengan proses metabolisme tanaman yang terjadi baik berupa proses respirasi dan fotosintesis yang menyebabkan kontaminan terurai dan menguap ke udara bebas sehingga tidak berbahaya lagi (Youngman, 1999).

4.3.1 Analisis Derajat Keasaman (pH)

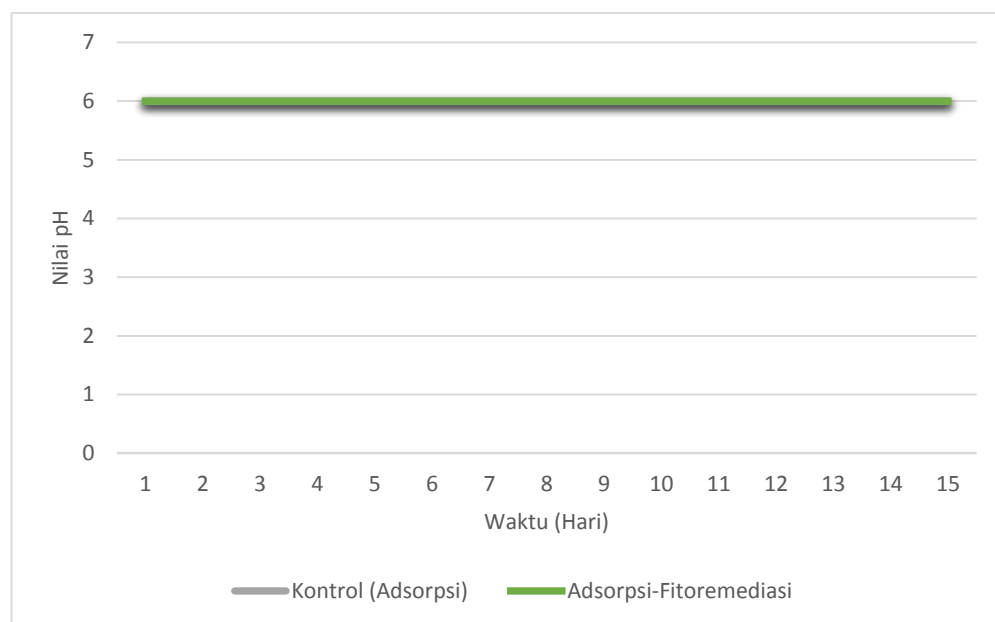
Penelitian dilakukan dengan menganalisis parameter derajat keasaman (pH) untuk mengetahui tingkat konsentrasi asam atau basa dari sampel limbah yang diuji. Kondisi awal sampel limbah memiliki nilai pH 6 yang kemudian dilakukan analisis secara berkala selama 15 hari mengikuti proses pengolahan fitoremediasi yang ada. Analisis pH sendiri dilakukan baik pada bak fitoremediasi maupun bak kontrol dengan hasil pengukuran yang dapat dilihat pada Tabel 4.4 sebagai berikut :

Tabel 4.4 Perbandingan Nilai Konsentrasi dan pH pada Limbah Detergen

Hari ke-	Bak Kotrol (Adsorpsi)			Bak Fitoremediasi (Adsorpsi-Fitoremediasi)		
	Konsentrasi Surfaktan (mg/L)	Konsentrasi COD (mg/L)	pH	Konsentrasi Surfaktan (mg/L)	Konsentrasi COD (mg/L)	pH
0	27,94	81,30	6	27,94	81,30	6
1	26,7	80,87	6	24,92	67,83	6
2	24,95	80,43	6	23,72	67,00	6
3	24,77	80,43	6	22,64	66,52	6
4	22,97	78,26	6	16,90	65,22	6
5	17,24	69,57	6	9,26	56,74	6
6	10,39	66,52	6	2,05	54,78	6
7	5,66	43,91	6	1,79	38,26	6

Hari ke-	Bak Kontrol (Adsorpsi)			Bak Fitoremediasi (Adsorpsi-Fitoremediasi)		
	Konsentrasi Surfaktan (mg/L)	Konsentrasi COD (mg/L)	pH	Konsentrasi Surfaktan (mg/L)	Konsentrasi COD (mg/L)	pH
8	4,42	52,61	6	1,70	36,52	6
9	4,11	50,87	6	1,49	33,91	6
10	3,97	41,3	6	0,81	32,61	6
11	3,67	36,96	6	0,74	28,57	6
12	3,57	45,22	6	0,69	29,43	6
13	3,77	47,39	6	0,57	30,00	6
14	3,66	39,13	6	0,16	25,31	6
15	3,46	37,39	6	0,02	23,91	6

Sumber : Data Primer, 2017



Gambar 4.5 Perubahan Nilai pH per-Hari Pada Limbah Detergen

Dari data diatas dapat dilihat bahwa untuk parameter pH pada sampel uji memiliki nilai yang stabil pada angka 6, analisis sendiri dilakukan dengan menggunakan kertas indikator universal yang menyebabkan nilai angka pH yang didapat kurang akurat yang disebabkan kertas indikator yang kurang memiliki detail dalam pembacaan.

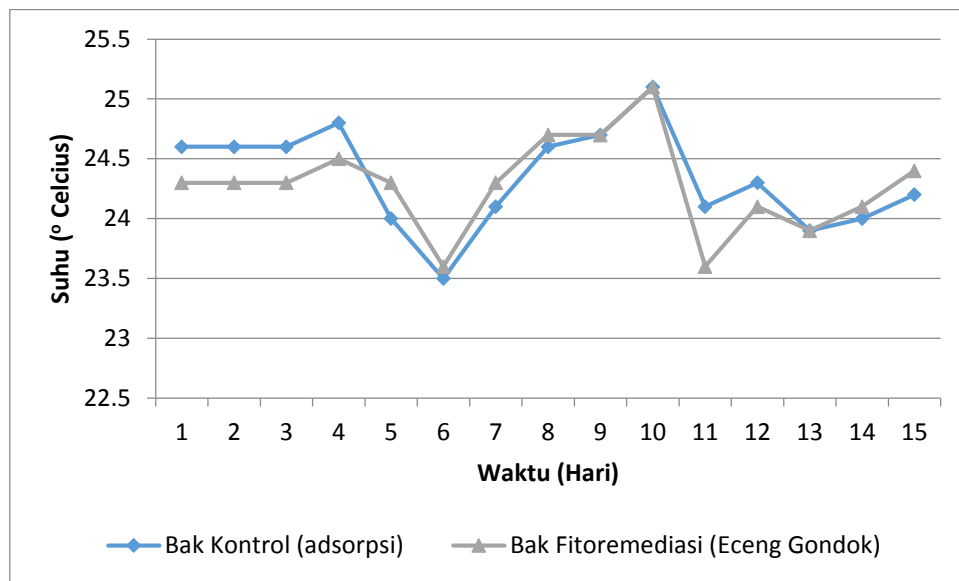
4.3.2 Analisis Suhu

Parameter kedua yaitu adalah suhu, yang merupakan salah satu faktor pendukung paling berpengaruh dalam proses pengolahan. Sampel limbah deterjen memiliki angka suhu mula-mula sebesar 25° C. Analisis parameter suhu sendiri dilakukan setiap hari selama proses pengolahan fitoremediasi berlangsung yaitu selama 15 hari, dengan hasil data pada Tabel 4.5 sebagai berikut ini :

Tabel 4.5 Perbandingan Nilai Konsentrasi dan Suhu pada Limbah Deterjen

Hari ke-	Bak Kontrol (Adsorpsi)			Bak Fitoremediasi (Adsorpsi-Fitoremediasi)		
	Konsentrasi Surfaktan (mg/L)	Konsentrasi COD (mg/L)	Suhu	Konsentrasi Surfaktan (mg/L)	Konsentrasi COD (mg/L)	Suhu
0	27,94	81,30	24,6	27,94	81,30	24,6
1	26,7	80,87	24,6	24,92	67,83	24,3
2	24,95	80,43	24,6	23,72	67,00	24,3
3	24,77	80,43	24,6	22,64	66,52	24,3
4	22,97	78,26	24,8	16,90	65,22	24,5
5	17,24	69,57	24	9,26	56,74	24,3
6	10,39	66,52	23,5	2,05	54,78	23,6
7	5,66	43,91	24,1	1,79	38,26	24,3
8	4,42	52,61	24,6	1,70	36,52	24,7
9	4,11	50,87	24,7	1,49	33,91	24,7
10	3,97	41,3	25,1	0,81	32,61	25,1
11	3,67	36,96	24,1	0,74	28,57	23,6
12	3,57	45,22	24,3	0,69	29,43	24,1
13	3,77	47,39	23,9	0,57	30,00	23,9
14	3,66	39,13	24	0,16	25,31	24,1
15	3,46	37,39	24,2	0,02	23,91	24,4

Sumber : Data Primer, 2017



Gambar 4.6 Perubahan Tingkat Suhu per-Hari pada Limbah Detergen

Dari tabel dan grafik diatas dapat dilihat bahwa suhu yang ada sangatlah fluktuatif, hal ini dikarenakan suhu sangat dipengaruhi terhadap kondisi yang ada di sekitarnya baik lingkungan lokasi proses fitoremediasi maupun lokasi tempat melakukan pengujian. Hasil diatas juga menunjukkan bahwa suhu tidak dipengaruhi oleh tingkat konsentrasi kontaminan seperti COD dan surfaktan yang semakin hari semakin menurun. Parameter suhu juga sangat dipengaruhi terhadap bentuk bak fitoremediasi yang ada, karena menurut Tjitrosoepomo (2000) tanaman eceng gondok memiliki bentuk morfologi yang cukup besar sehingga membuat tertutupnya sebagian besar bak dan menghalangi cahaya matahari yang masuk dan akhirnya dapat mempengaruhi suhu pada limbah deterjen yang ada.

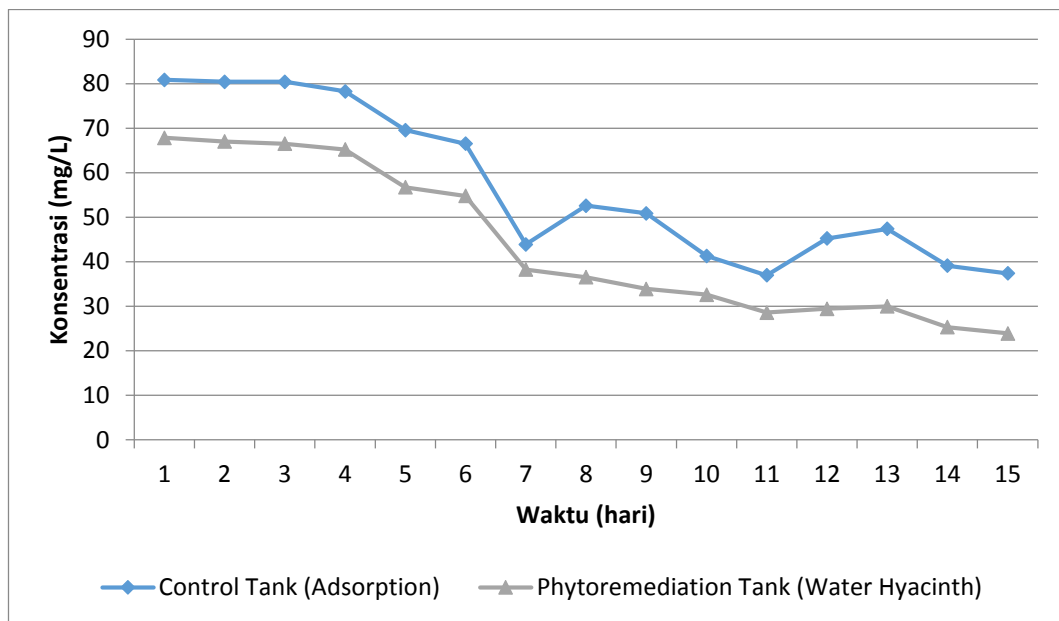
4.3.3 Analisis COD (Chemical Oxygen Demand)

Parameter COD berfungsi untuk mengetahui kandungan organik yang ada dalam limbah deterjen. Analisis terhadap parameter COD dilakukan setiap hari selama 15 hari dengan menyesuaikan pada proses pengolahan fitoremediasi yang ada. Data hasil uji COD selama 15 hari tersebut dapat dilihat pada Tabel 4.6 berikut :

Tabel 4.6 Penurunan COD pada Limbah Detergen

Konsentrasi Awal = 81,30 mg/l				
Hari ke-	Bak Kontrol (Adsorpsi)		Bak Fitoremediasi (Adsorpsi-Fitoremediasi)	
	Konsentrasi (mg/L)	% Removal	Konsentrasi (mg/L)	% Removal
1	80,87	0,5%	67.83	16,6%
2	80,43	1,1%	67.00	17,6%
3	80,43	1,1%	66.52	18,2%
4	78,26	3,7%	65.22	19,8%
5	69,57	14,4%	56.74	30,2%
6	66,52	18,2%	54.78	32,6%
7	43,91	46,0%	38.26	52,9%
8	52,61	35,3%	36.52	55,1%
9	50,87	37,4%	33.91	58,3%
10	41,3	49,2%	32.61	59,9%
11	36,96	54,5%	28.57	63,6%
12	45,22	44,4%	29.43	74,9%
13	47,39	41,7%	30.00	63,1%
14	39,13	51,9%	25.31	68,9%
15	37,39	54,0%	23.91	70,6%

Sumber : Data Primer, 2017



Gambar 4.7 Penurunan Konsentrasi COD pada Limbah Detergen

Dari data diatas dapat dilihat bahwa penurunan konsentrasi COD yang terjadi cukup signifikan walaupun mengalami sedikit fluktuatif, dengan konsentrasi awal 80 mg/l pada bak kontrol dan 67,83 mg/l pada bak fitoremediasi yang konstan turun hingga mencapai angka 37,39 mg/l pada bak kontrol dan 23,91 mg/l pada bak fitoremediasi pada hari ke-15. Dengan hasil tersebut maka dapat dikatakan pengolahan secara fitoremediasi selama 15 hari telah mampu membuat penurunan kadar COD yang signifikan hingga telah mencapai ambang batas baku mutu yang ada yaitu sebesar 50 mg/l dan layak untuk dibuang ke badan air.

Mekanisme terjadinya penurunan konsentrasi COD dalam air limbah *laundry* sendiri terjadi pada proses fitoremediasi karena adanya pertumbuhan mikroorganisme pada zona perakaran (Rezania, 2015). Mikroorganisme ini berperan dalam penguraian bahan-bahan organik. Pada daerah perakaran tanaman terjadi penyaluran oksigen dari daun yang menyebabkan terbentuknya zona oksigen, hal ini meningkatkan populasi mikroorganisme daerah perakaran yang mencapai 10-100 kali lebih banyak, yang membantu penyerapan bahan pencemar dalam air limbah yang diolah. Selain itu penurunan kadar COD juga dapat

berlangsung secara alami karena kemampuan alam dalam menetralkan kontaminan secara alami.

4.3.4 Analisis Surfaktan

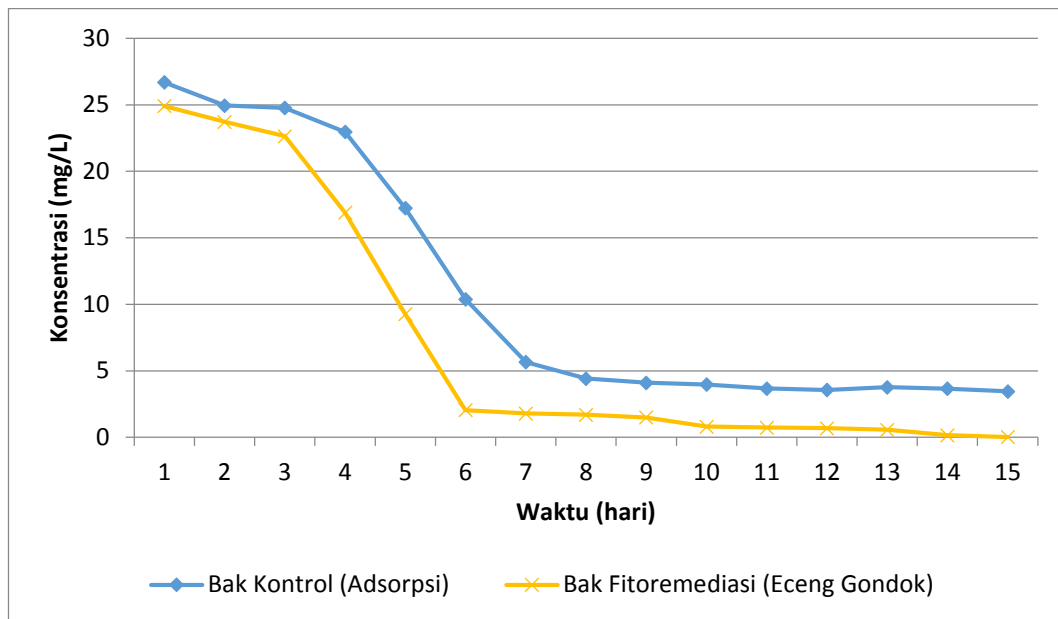
Parameter surfaktan merupakan salah satu elemen utama yang perlu dilakukan pengolahan karena merupakan salah satu kontaminan pencemar utama dalam limbah deterjen. Surfaktan sendiri terbagi menjadi 4 jenis yaitu surfaktan anionik, kationik, nonionik dan amfoterik (Terechova, et al. 2014).

Analisis terhadap parameter surfaktan dilakukan selama 15 hari dengan mengikuti proses pengolahan fitoremediasi yang dilakukan pada limbah deterjen. Analisis surfaktan sendiri dilakukan pada jenis surfaktan anionik dengan mengacu pada SNI 06-6989.51-2005 secara biru metilen dengan spektrofotometri. Hasil dari pengujian pada parameter surfaktan dapat dilihat pada Tabel 4.7 sebagai berikut :

Tabel 4.7 Penurunan Surfaktan pada Limbah Deterjen

Konsentrasi Awal = 27,94 mg/l				
Hari ke-	Bak Kontrol		Bak Fitoremediasi	
	Konsentrasi (mg/L)	% Removal	Konsentrasi (mg/L)	% Removal
1	26,7	4,4%	24,92	10,8%
2	24,95	10,7%	23,72	15,1%
3	24,77	11,3%	22,64	19,0%
4	22,97	17,8%	16,90	39,5%
5	17,24	38,3%	9,26	66,8%
6	10,39	62,8%	2,05	92,7%
7	5,66	79,7%	1,79	93,6%
8	4,42	84,2%	1,70	93,9%
9	4,11	85,3%	1,49	94,7%
10	3,97	85,8%	0,81	97,1%
11	3,67	86,9%	0,74	97,4%
12	3,57	87,2%	0,69	97,5%
13	3,77	86,5%	0,57	98,0%
14	3,66	86,9%	0,16	99,4%
15	3,46	87,6%	0,02	99,9%

Sumber : Data Primer, 2017



Gambar 4.8 Penurunan Konsentrasi Surfaktan pada Limbah Detergen

Dari data diatas dapat dilihat bahwa penurunan kadar surfaktan yang terjadi cukup stabil dan signifikan, hal ini terbukti dengan konsentrasi awal surfaktan pada bak kontrol sebesar 26,7 mg/l dan bak fitoremediasi sebesar 24,92 mg/l turun menjadi 3,46 mg/l untuk bak kontrol dan 0,02 mg/l untuk bak fitoremediasi. Hal ini menunjukkan bahwa % *removal* yang terjadi mencapai 99,99% pada proses fitoremediasi dengan eceng gondok, sehingga dapat dikatakan bahwa tanaman eceng gondok cukup efektif dan efisien dalam menyerap kontaminan surfaktan yang ada dalam limbah *laundry*.

Pada parameter surfaktan dapat dikatakan telah memenuhi baku mutu yang ada dengan ambang batas sebesar 0,2 mg/l, bahkan penurunan yang terjadi akibat pengolahan fitoremediasi telah memenuhi baku mutu semenjak hari ke-14. Hal ini menunjukkan bahwa limbah deterjen yang telah melalui pengolahan fitoremediasi selama 14 hari dapat dibuang ke badan air secara langsung karena telah aman.

Penurunan konsentrasi yang terjadi tidak hanya pada bak fitoremediasi, namun juga terjadi pada bak kontrol. Hal ini terjadi karena deterjen yang dianalisis

berjenis LAS (*Linear Alkyl Sulfonate*). Deterjen dengan jenis LAS mudah dirusak oleh mikroba sehingga lebih mudah terdegradasi secara biologis, berbeda dengan deterjen dengan jenis ABS (*Alkyl Benzene Sulfonate*) yang sulit terdegradasi secara biologis (Kurnia dkk, 2015).