

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Penjelasan Umum

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui efektifitas kombinasi kulit salak sebagai adsorben dan tanaman eceng gondok sebagai *aquatic plant treatment* pada kombinasi proses adsorpsi metode kolom dan fitoremediasi dalam menurunkan konsentrasi COD (*Chemical Oxygen Demand*) dan TSS (*Total Suspended Solid*) pada limbah cair penyamakan kulit. Pengujian dilakukan dalam skala laboratorium melalui kombinasi reaktor kolom adsorpsi dan fitoremediasi dengan terlebih dahulu menentukan kondisi optimum dari adsorben melalui proses *batch*.

Penggunaan kulit salak sebagai adsorben didahului proses pembuatan menjadi serbuk yang lolos saringan nomor 50 *mesh*. Selanjutnya untuk meningkatkan kemampuan kulit salak dalam mengadsorpsi COD dan TSS dalam limbah dan mempermudah pemisahan antara adsorben dan limbah yang diolah, serbuk kulit salak dienkapsulasi menggunakan metode enkapsulasi *alginate gel* dengan mencampurkan serbuk kulit salak pada larutan *sodium alginate* 3% dan meneteskannya ke dalam larutan kalsium klorida (CaCl_2) 10 %. Butiran adsorben yang terbentuk akan didiamkan selama 30 menit dan dibilas menggunakan aquades lalu dioven selama 2 jam pada suhu 80°C.

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode *batch* dan kolom dikombinasikan dengan proses fitoremediasi. Pada proses *batch* dilakukan dengan menguji pada beberapa variasi kondisi yaitu massa, pH, dan waktu kontak. Proses *batch* dilakukan menggunakan limbah cair penyamakan kulit dengan jumlah volume 100 mL pada suhu ruang divariasikan dengan berbagai variasi kondisi. Dari masing-masing variasi tersebut akan didapat kondisi optimum dari adsorben yang akan digunakan selanjutnya pada proses kolom.

Selanjutnya dalam proses kombinasi pengolahan adsorpsi dan fitoremediasi, limbah cair penyamakan kulit akan dialirkan melalui kolom adsorpsi. Hasil dari proses kolom akan dijadikan sebagai bak kontrol, selanjutnya limbah dari proses kolom akan diolah kembali dalam proses fitoremediasi selama 14 hari oleh tanaman eceng gondok untuk melihat efektifitas dari penurunan COD dan TSS. Tanaman eceng gondok terlebih dahulu diaklimatisasi selama 7 hari untuk mengalami penyesuaian dengan lingkungan baru. Hasil dari proses kombinasi ini akan dibandingkan dengan *Output* proses fitoremediasi dan tanpa menggunakan proses fitoremediasi.

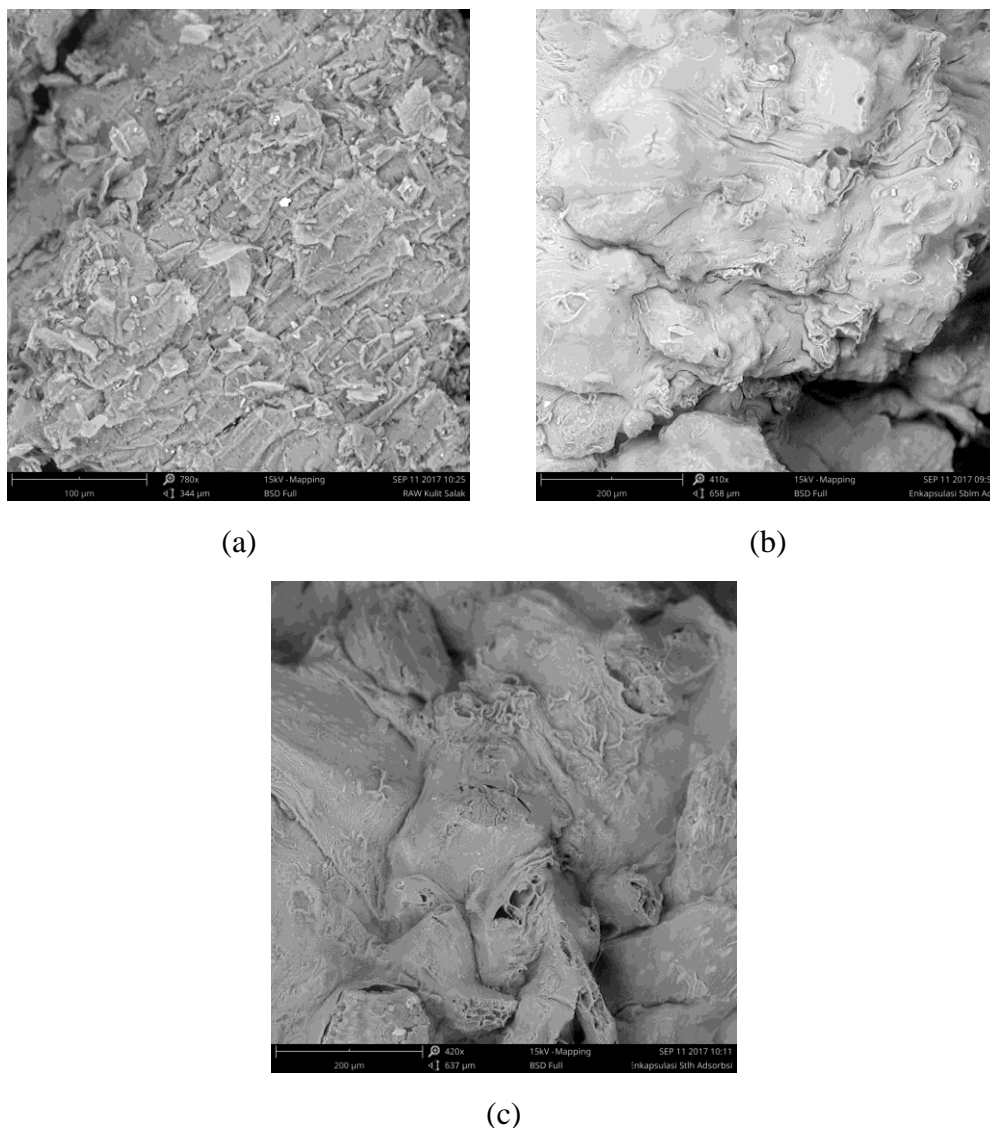
4.2 Karakterisasi Adsorben Kulit Salak

Untuk mengetahui sifat dan karakter dari adsorben kulit salak yang digunakan dalam penelitian ini, maka dilakukan analisis gugus fungsi dan analisis bentuk serta morfologi pada adsorben kulit salak dengan FTIR (*Fourier Transform Infa-Red*) dan SEM (*Scanning Electron Microscopy*). Pengujian ini membandingkan sifat dan karakter dari serbuk kulit salak sebelum dan sesudah dienkapsulasi menggunakan *sodium alginate* dan sifat dan karakter dari adsorben kulit salak setelah mengalami proses adsorpsi.

4.2.1 SEM (*Scanning Electron Microscopes*)

Pada pengujian SEM (*Scanning Electron Microscope*) merupakan pengujian untuk mengetahui bentuk dan permukaan dari adsorben (morfologi dan topologi). Selain uji SEM terdapat uji EDS (*Energy Dispersive Spectroscopy*) dimana bertujuan untuk menganalisis komposisi molekul yang terkandung dalam sampel yang diuji.

Pengujian dilakukan terhadap serbuk kulit salak, serta serbuk kulit salak yang terenkapsulasi *alginate gel* dan serbuk kulit salak yang terenkapsulasi *alginate gel* setelah melalui proses adsorpsi.



Gambar 4.1 (a) Analisis SEM Serbuk Kulit Salak pada Pembesaran 780x, (b) Analisis SEM Serbuk Kulit Salak Terenkapsulasi *Alginate Gel* pada Pembesaran 410x, (c) Analisis SEM Serbuk Kulit Salak Terenkapsulasi *Alginate Gel* Setelah Adsorpsi pada Pembesaran 420x

Dari perbandingan antara Gambar 4.1 hingga 4.3 terlihat bentuk morfologi dari adsorben kulit salak. Melalui ketiga gambar tersebut tampak permukaan keseluruhan bagi tiga jenis kulit salak nampak berbeda. Pada serbuk kulit salak murni setelah dilakukan pembesaran 780x terlihat serat-serat struktur khas dari selulosa kulit salak yang saling menumpuk. Serat-serat yang mengandung selulosa memiliki ikatan $-OH$ yang memungkinkan terjadinya proses adsorpsi. Setelah

mengalami proses enkapsulasi dengan *sodium alginate* bagian permukaan adsorben menjadi bentuk granular dengan *alginate gel* yang menyelubungi permukaan serbuk kulit salak. Terlihat struktur butiran *alginate gel* dipehuni oleh serbuk kulit salak sehingga membuat struktur butiran menjadi bergelombang dan terdapat rekahan-rekahan disepanjang permukaannya. Setelah adsorben mengalami proses adsorpsi terlihat pada Gambar 4.3 bahwa struktur permukaan dari adsorben tidak terlalu mengalami perubahan hanya pada bentuk yang menjadi lebih tidak beraturan.

Karakterisasi dilanjutkan dengan analisis EDS (*Energy Dispersive Spectroscopy*) yang akan menampilkan presentase komposisi atom elemen kimia dari adsorben kulit salak.

Tabel 4.1 Analisis EDS Adsorben Kulit Salak

Jenis	Elemen Kimia (% Massa)		
	C	O	Si
Raw Kulit Salak	17,2	77,7	1,6
Enkapsulasi Kulit Salak Sebelum Adsorpsi	5,8	80,7	0,3
Enkapsulasi Kulit Salak Setelah Adsorpsi	9,5	85,5	1,1

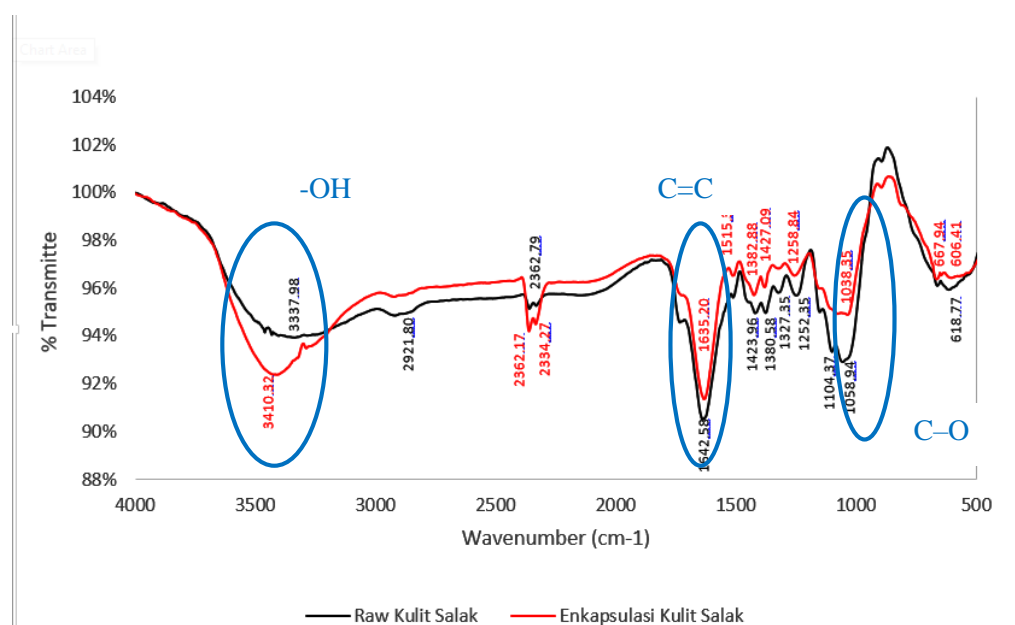
Sumber : Data Primer, 2017

Pada pengujian EDS yang dilakukan terdapat tiga kandungan unsur yaitu, karbon (C), oksigen (O), dan silika (Si). Melalui uji EDS terlihat perbedaan kandungan dan penambahan maupun pengurangan komposisi atom pada tiap jenis kulit salak yang diujikan. Setelah mengalami enkapsulasi komposisi atom O serbuk kulit salak mengalami peningkatan sebesar 80,7%. Hasil karakterisasi menunjukkan adanya unsur Si yang memungkinkan adanya keterlibatan gugus fungsi siloklan dalam proses adsorpsi.

4.2.2 FTIR (*Fourier Transform Infra-Red*)

Dalam pengujian FTIR sampel yang diuji berupa serbuk kulit salak, serbuk kulit salak yang terenkapsulasi *alginate gel* dan serbuk kulit salak terenkapsulasi *alginate gel* setelah melalui proses adsorpsi.

Pengujian dilakukan untuk mengetahui kandungan gugus-gugus fungsional senyawa apa saja yang terdapat dalam adsorben kulit salak dan yang berperan dalam proses adsorpsi. Hasil dari analisis FTIR pada serbuk kulit salak serta serbuk kulit salak terenkapsulasi maupun serbuk kulit salak terenkapsulasi setelah proses adsorpsi dapat dilihat pada Gambar 4.4 hingga 4.6 berikut ini.

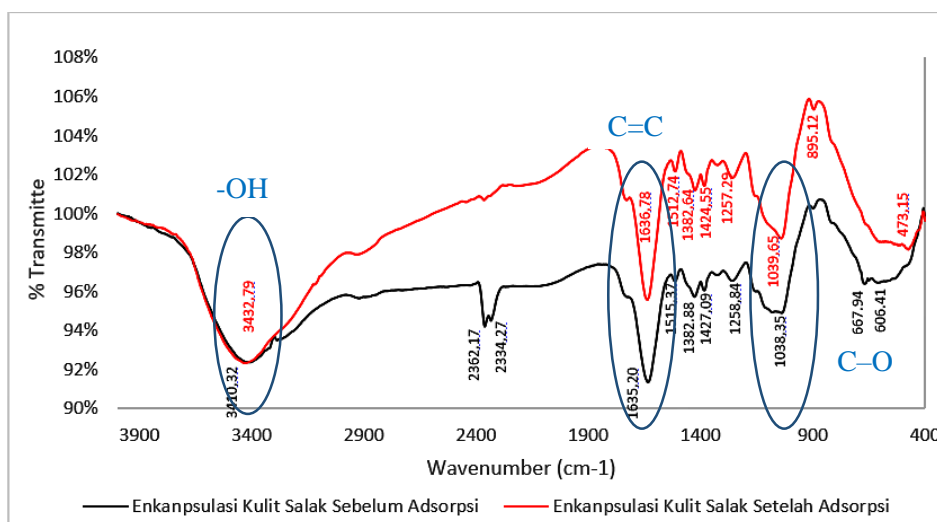


Gambar 4.2 Perbandingan Analisis FTIR pada *Raw Kulit Salak* dengan Enkapsulasi Kulit Salak

Hasil analisis FTIR pada *raw* kulit salak dengan kulit salak yang telah mengalami enkapsulasi dengan *sodium alginate* menunjukkan beberapa puncak serapan yang menunjukkan struktur kompleks dari bahan penyusun adsorben. Rantai -OH dalam gugus karboksil yang terkandung dalam selulosa kulit salak terlihat pada puncak serapan $3371,98\text{ cm}^{-1}$ dan $3410,32\text{ cm}^{-1}$ dalam masing-masing *raw* kulit salak dan kulit salak yang terenkapsulasi. Kandungan gugus -OH yang terlihat pada hasil analisa FTIR pada *raw* kulit salak dan setelah terenkapsulasi menunjukkan keberadaannya dalam selulosa kulit salak yang berperan dalam

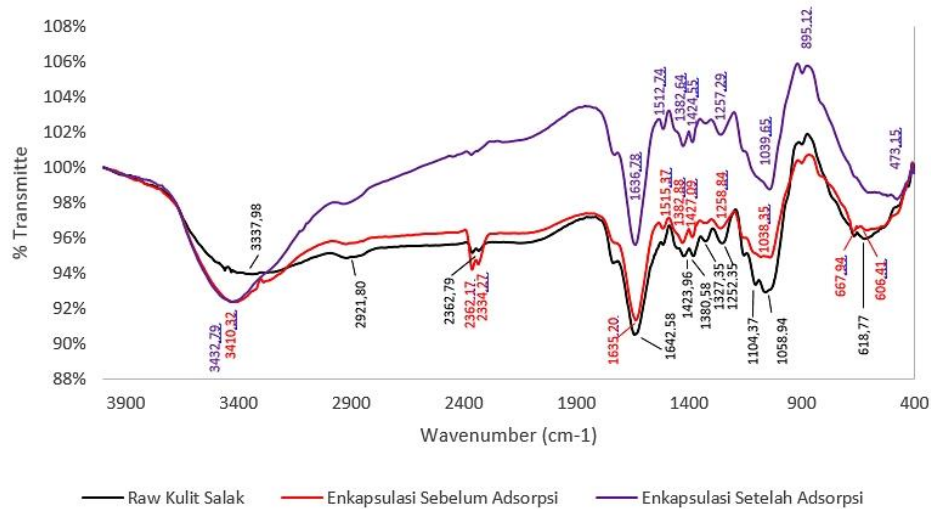
proses penyerapan bahan-bahan organik. Selain gugus hidkroksil terdapat gugus karboksil dengan rantai C-O yang terbaca pada puncak serapan $1058,94\text{ cm}^{-1}$ dan $1038,35\text{ cm}^{-1}$ dan juga terdapat ikatan C=C pada puncak serapan $1642,58\text{ cm}^{-1}$ dan $1635,20\text{ cm}^{-1}$.

Dari dua spektrum FTIR yang diamati tersebut terdapat perbedaan intensitas antara *raw* kulit salak sebelum dan setelah mengalami proses enkapsulasi seperti intensitas -OH pada kulit salak terenapsulasi cenderung melemah dibandingkan dengan *raw* kulit salak mengindikasikan hilangnya gugus -OH pada saat proses enkapsulasi.



Gambar 4.3 Perbandingan Analisis FTIR pada Kulit Salak Terenapsulasi Sebelum dan Setelah Adsorpsi

Dari hasil spektra FTIR kulit salak terenapsulasi sebelum dan sesudah adsorpsi menggunakan limbah penyamakan kulit terlihat adanya peningkatan intensitas serapan pada gugus C=C dan C-O setelah mengalami proses adsorpsi. Peningkatan puncak-puncak serapan setelah proses adsorpsi menandakan adanya interaksi ikatan pertukaran molekul-molekul antara bahan-bahan organik yang terdapat dalam limbah penyamakan kulit dengan adsorben kulit salak. Pergeseran % transmittance diantara sebelum dan sesudah adsorpsi menandakan gugus-gugus fungsional yang terkandung dalam adsorben kulit salak telah menyerap bahan-bahan organik maupun anorganik yang terkandung dalam limbah.



Gambar 4.4 Perbandingan Analisis FTIR pada *Raw Kulit Salak* Serta Enkapsulasi Kulit Salak Sebelum dan Setelah Adsorpsi

Pada Gambar 4.6 menunjukkan ketiga spektrum FTIR pada *raw* kulit salak, serta kulit salak terenkapsulasi sebelum dan sesudah mengalami proses adsorpsi. Terlihat jelas perbedaan intensitas dari masing-masing spektrum FTIR. Perbedaan intensitas pada masing-masing puncak menandakan terjadinya proses enkapsulasi pada kulit salak pada *raw* kulit salak dan kulit salak terenkapsulasi serta adanya interaksi molekuler yang terjadi akibat mengalami proses adsorpsi.

Untuk melihat berbagai jenis senyawa yang didapat dari hasil FTIR adalah dengan menggunakan tabel korelasi pada Lampiran 6. Nilai frekuensi yang diperoleh dicocokkan dengan rentang nilai pada tabel korelasi sehingga diperoleh jenis senyawa serta gugus fungsi dari adsorbent tersebut.

4.3 Penentuan Kondisi Optimum Adsorpsi dengan Metode *Batch*

Penentuan kondisi optimum pada proses adsorpsi dilakukan untuk mengetahui besarnya daya serap adsorbent pada kondisi yang optimal. Dalam penelitian ini variabel yang digunakan dalam menentukan kondisi optimum berupa variasi massa adsorbent, variasi pH adsorbent, dan variasi waktu adsorbent.

4.3.1 Pengujian Variasi Massa

Pengujian variasi massa pada adsorben kulit salak yang terenkapsulasi dilakukan untuk mengetahui penyerapan adsorben dengan variasi dosis pemberian adsorben pada limbah dalam menurunkan konsentrasi COD dan TSS pada limbah cair penyamakan kulit. Adapun variasi massa adsorben yang digunakan adalah 50 mg, 100 mg, 200 mg, 300 mg, dan 400 mg dengan volume limbah cair penyamakan kulit sebesar 100 mL pada waktu pengadukan 120 menit dengan kecepatan putaran 150 rpm. Hasil pengujian variasi massa ini ditunjukkan pada Tabel 4.2 dan 4.3.

Tabel 4.2 Data Variasi Massa Adsorben pada Parameter COD

Massa (Mg)	pH awal		Konsentrasi (mg/L)		Effisiensi Adsorpsi (%)
	Awal	Akhir	Awal	Akhir	
0 mg Kontrol	7	7	981,67	975,92	0,59%
50 mg	7	7	981,67	677,5	30,98%
100 mg	7	7	981,67	502,5	48,81%
200 mg	7	7	981,67	406,7	58,57%
300 mg	7	7	981,67	373,3	61,97%
400 mg	7	7	981,67	365	62,82%

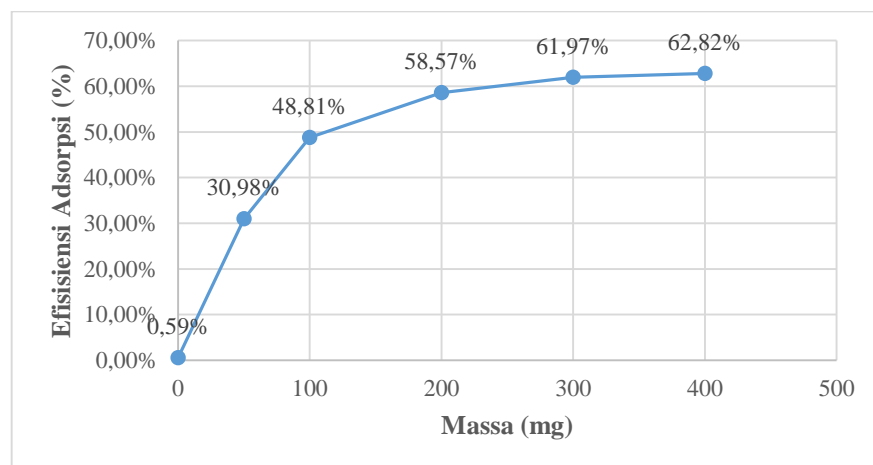
Sumber : Data Primer, 2017

Tabel 4.3 Data Variasi Massa Adsorben pada Parameter TSS

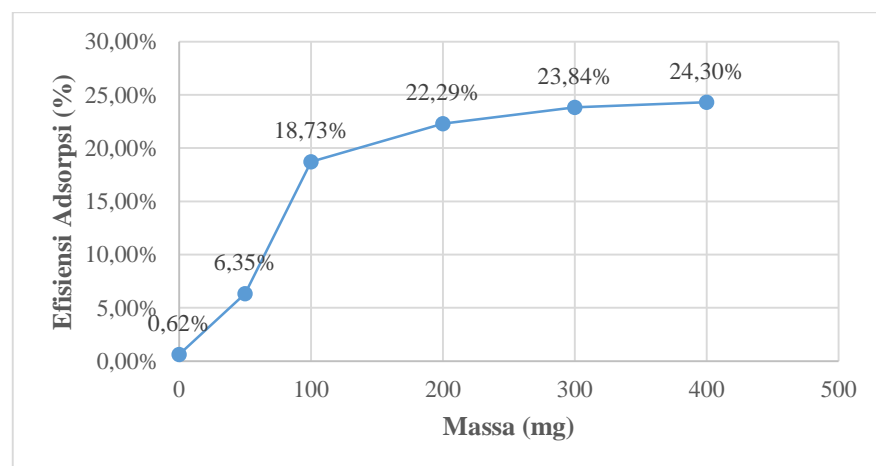
Massa (Mg)	pH awal		Konsentrasi (mg/L)		Effisiensi Adsorpsi (%)
	Awal	Akhir	Awal	Akhir	
0 mg Kontrol	7	7	64,60	64,20	0,62%
50 mg	7	7	64,60	60,5	6,35%
100 mg	7	7	64,60	52,5	18,73%
200 mg	7	7	64,60	50,2	22,29%
300 mg	7	7	64,60	49,2	23,84%
400 mg	7	7	64,60	48,9	24,30%

Sumber : Data Primer, 2017

Dari data Tabel 4.2 dan 4.3 diatas kemudian diplotkan dalam sebuah grafik hubungan antara kemampuan efisiensi *removal* parameter COD dan TSS pada limbah penyamakan kulit seiring dengan penambahan massa adsorben. Grafik tersebut dapat dilihat pada Gambar 4.3 Dan 4.4.



Gambar 4.5 Grafik Hubungan Penambahan Massa Adsorben Terhadap Presentase *Removal* COD



Gambar 4.6 Grafik Hubungan Penambahan Massa Adsorben Terhadap Presentase *Removal* TSS

Dari kedua grafik tersebut dapat diketahui bahwa penambahan massa adsorben berbanding lurus dengan efisiensi *removal* untuk parameter COD dan TSS. Adsorben kulit salak mempunyai kemampuan dalam menyisihkan parameter COD dan TSS dalam limbah. Hal ini disebabkan karena luas permukaan dari adsorben kulit salak untuk mengadsorpsi bahan organik lebih besar seiring dengan bertambahnya jumlah adsorben yang digunakan sehingga kemampuan adsorben dalam mengadsorpsi polutan akan semakin bertambah.

Pada parameter TSS jumlah efisiensi *removal* tertinggi yang dihasilkannya hanya 24,30% pada massa 400 mg menunjukkan bahwa metode adsorpsi kurang efektif dalam menurunkan konsentrasi TSS pada limbah penyamakan kulit. Hal ini dilihat dari efisiensi penyisihan TSS yang kecil. Ini disebabkan oleh permukaan adsorben kulit salak yang tidak efektif dalam menyisihkan padatan tersuspensi pada limbah cair penyamakan kulit. Adsorpsi dapat efektif dalam menyisihkan padatan tersuspensi apabila dengan waktu kontak yang lama karena limbah cair penyamakan kulit merupakan limbah yang memiliki kepekatan tinggi (Puspita, 2008).

4.3.2 Pengujian Variasi pH

Pengujian pada variasi pH ditunjukkan untuk mengetahui pH optimal terhadap kemampuan penyerapan adsorben pada parameter COD dan TSS dalam limbah cair penyamakan kulit. Adapun variasi pH yang digunakan dalam penentuan kondisi optimum adalah 3, 5, 7, 9, dan 11 dengan massa optimum 400 mg yang didapat dari pengujian sebelumnya. Penkondisian pH dilakukan dengan penambahan larutan HCl 0,1 N untuk kondisi asam dan larutan NaOH 0,1 N untuk kondisi basa. Hasil pengujian variasi massa ini ditunjukkan pada Tabel 4.4 dan 4.5.

Tabel 4.4 Data Variasi pH Adsorben pada Parameter COD

Massa (Mg)	pH Rencana	pH Awal	Konsentrasi (mg/L)		Efisiensi Adsorpsi (%)
			Awal	Akhir	
Blanko	7		981,70	964,7	1,73%
400 mg	3	7	981,70	798,33	18,68%
400 mg	5	7	981,70	669,17	31,84%
400 mg	7	7	981,70	490,00	50,09%
400 mg	9	7	981,70	706,67	28,02%
400 mg	11	7	981,70	623,33	36,50%

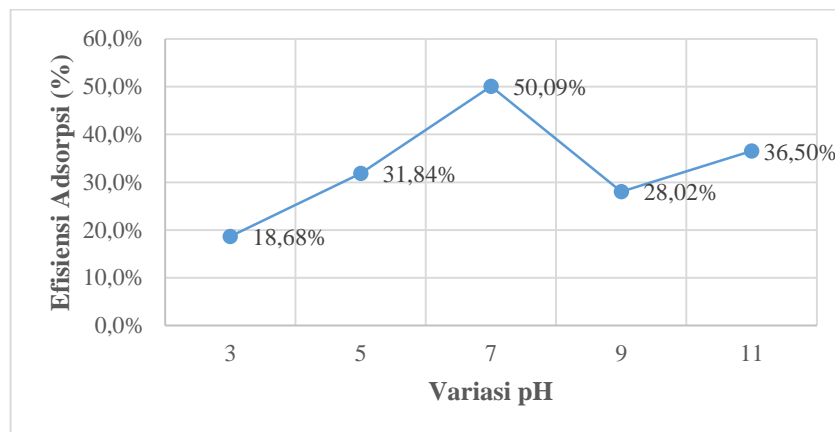
Sumber : Data Primer, 2017

Tabel 4.5 Data Variasi pH Adsorben pada Parameter TSS

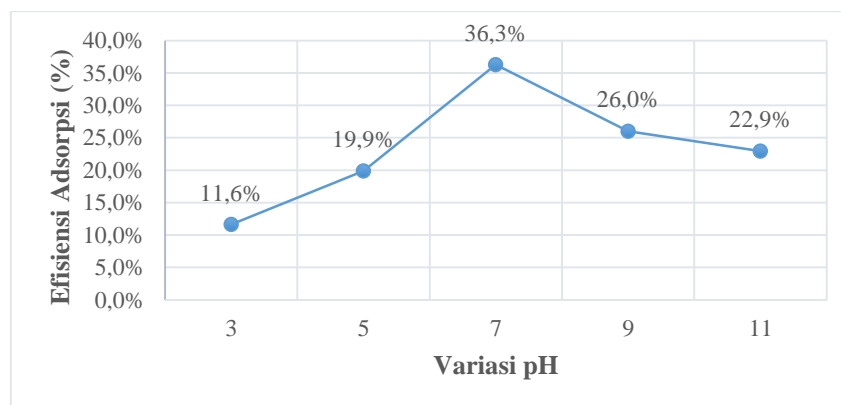
Massa (Mg)	pH Rencana	pH Awal	Konsentrasi (mg/L)		Efisiensi Adsorpsi (%)
			Awal	Akhir	
Blanko	7		58,4	58,4	0,00%
400 mg	3	7	58,4	51,6	11,6%
400 mg	5	7	58,4	46,8	19,9%
400 mg	7	7	58,4	37,2	36,3%
400 mg	9	7	58,4	43,2	26,0%
400 mg	11	7	58,4	45	22,9%

Sumber : Data Primer, 2017

Dari data Tabel 4.4 dan 4.5 diatas kemudian diplotkan dalam sebuah grafik hubungan antara kemampuan efisiensi *removal* parameter COD dan TSS pada limbah penyamakan kulit terhadap variasi pH yang diberikan. Grafik tersebut dapat dilihat pada Gambar 4.5 Dan 4.6.



Gambar 4.7 Grafik Hubungan nilai pH Terhadap Presentase *Removal* COD



Gambar 4.8 Grafik Hubungan nilai pH Terhadap Presentase *Removal* TSS

Pengujian pH merupakan salah satu faktor penting yang mempengaruhi penyerapan polutan oleh adsorben. Berdasarkan hasil yang didapat dari grafik menunjukkan bahwa efisiensi penurunan COD dan TSS akan meningkat seiring bertambahnya pH, tetapi mengalami penurunan setelah melewati titik optimum yang dicapai. Penyerapan optimum pada parameter COD dan TSS adalah pada pH 7 dengan efisiensi penyerapan untuk COD adalah 50,09% dan TSS adalah 36,3%.

Pada pH dibawah 7 dan diatas 7 penyerapan menjadi menurun hal ini disebabkan karena terjadinya pertukaran ion dengan adsorbat. Pada pH rendah, permukaan adsorben bermuatan positif dikarenakan jumlah ion H^+ lebih besar. Pada proses adsorpsi, molekul adsorben secara kimiawi mempunyai sisi aktif atau gugus fungsional pada adsorben yang mampu berinteraksi dengan adsorbat. Proses

adsorpsi terjadi pertukaran ion sehingga pada pH yang rendah larutan yang didominasi oleh ion positif H^+ akan berkompetisi dengan ion organik seperti protein dan lemak pada permukaan adsorben sehingga pada pH rendah dibawah 7, peluang pengikatan ion organik oleh adsorben relatif kecil sehingga efisiensi penyerapannya menurun.

Sedangkan pada pH basa diatas 7, kelimpahan jumlah ion OH^- akan membuat difusi ion-ion organik pada permukaan adsorben terhalang sehingga dapat menyebabkan efisiensi *removal* COD dan TSS menurun pada pH yang tinggi.(Kasam *et al*, 2005).

4.3.3 Pengujian Variasi Waktu Kontak

Pengujian variasi waktu kontak diperlukan untuk mengetahui waktu kontak optimal bagi adsorben terhadap kemampuannya dalam menyerap bahan-bahan organik dalam limbah. Pada pengujian waktu kontak digunakan dosis dan pH optimum yang telah diperoleh dari percobaan sebelumnya. Daya penyerapan ion-ion organik terhadap adsorben kulit salak terenkapsulasi akan bervariasi seiring dengan lamanya waktu kontak yang diberikan dalam proses adsorpsi.

Pengujian variasi waktu kontak menggunakan variasi waktu pengadukan selama 15, 30, 60, 90, dan 120 menit. Massa adsorben yang digunakan adalah 400 mg dengan kecepatan pengadukan 150 rpm. Data hasil pengujian berdasarkan variasi waktu terhadap parameter COD dan TSS tertera pada Tabel 4.6 dan 4.7 berikut ini

Tabel 4.6 Data Variasi Waktu Kontak Adsorben pada Parameter COD

Waktu Kontak (menit)	pH awal		Konsentrasi (mg/L)		Effisiensi Adsorpsi (%)
	Awal	Akhir	Awal	Akhir	
0 menit kontrol	7	7	902,50	927,50	2,8%
15 menit	7	7	902,50	785,83	12,9%
30 menit	7	7	902,50	640,00	29,1%
60 menit	7	7	902,50	519,17	42,5%
90 menit	7	7	902,50	315,00	65,1%
120 menit	7	7	902,50	194,17	78,5%

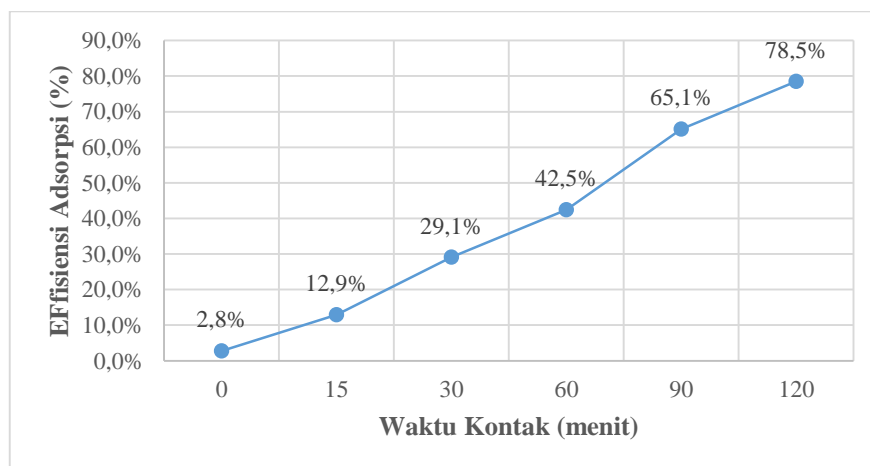
Sumber : Data Primer, 2017

Tabel 4.7 Data Variasi Waktu Kontak Adsorben pada Parameter TSS

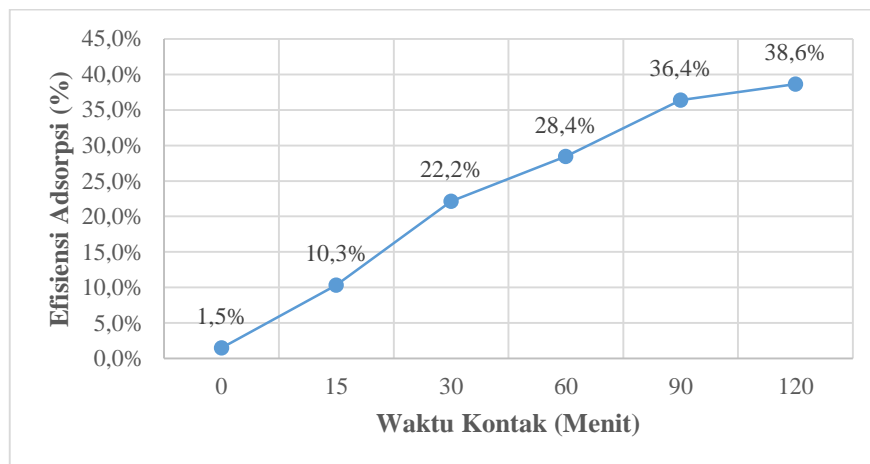
Waktu Kontak (menit)	pH awal		Konsentrasi (mg/L)		Effisiensi Adsorpsi (%)
	Awal	Akhir	Awal	Akhir	
0 menit kontrol	7	7	68,80	66,8	1,5%
15 menit	7	7	66,8	59,90	10,3%
30 menit	7	7	66,8	52,00	22,2%
60 menit	7	7	66,8	47,80	28,4%
90 menit	7	7	66,8	42,50	36,4%
120 menit	7	7	66,8	41,00	38,6%

Sumber : Data Primer, 2017

Dari data Tabel 4.6 dan 4.7 diatas kemudian diplotkan dalam sebuah grafik hubungan antara kemampuan efisiensi *removal* parameter COD dan TSS pada limbah penyamakan kulit terhadap variasi waktu kontak yang diberikan. Grafik tersebut dapat dilihat pada Gambar 4.7 Dan 4.8.



Gambar 4.9 Grafik Hubungan Penambahan Waktu Kontak Terhadap Presentase *Removal* COD



Gambar 4.10 Grafik Hubungan Penambahan Waktu Kontak Terhadap Presentase *Removal* TSS

Berdasarkan grafik antara parameter COD dan TSS pada hubungan penambahan waktu kontak terhadap presentase *removal* memperlihatkan bahwa semakin lama waktu pengadukan yang diberikan pada proses adsorpsi maka terjadi peningkatan terhadap penyisihan bahan-bahan organik dalam limbah penyamakan kulit. Pada grafik tersebut menunjukkan bahwa lama waktu kontak adsorben terhadap adsorbat berbanding lurus dengan presentase *removal*.

Kapasitas penyerapan adsorpsi pada menit ke-15 dan ke-30 pada kedua grafik diatas belum mengalami peningkatan yang signifikan dikarenakan adsorben belum berinteraksi dengan adsorbat secara maksimal. Kenaikan kapasitas penyerapan adsorpsi terlihat setelah melewati waktu ke-30 menit disebabkan oleh permukaan pori adsorben yang kosong telah berinteraksi dengan bahan-bahan organik adsorbat. Pada parameter TSS setelah menit ke-60 kenaikan tidak terlalu signifikan karena adsorben telah dalam keadaan jenuh akibat terisi oleh bahan-bahan organik pada permukaan situs aktif adsorben. (Idris *et al*, 2011).

4.4 Kombinasi Proses Adsorpsi Metode Kolom dan Fitoremediasi

Penelitian utama dari percobaan adalah proses pengolahan limbah penyamakan kulit dengan sistem kombinasi adsorpsi kolom dan fitoremediasi dengan mengacu pada kondisi optimum yang didapat dari proses *batch*. Kondisi optimum yang diperoleh adalah dengan massa 400 mg dan pH 7 dengan waktu kontak 2 jam karena memiliki efisiensi penyisihan paling tinggi untuk parameter COD dan TSS.

Meskipun dalam proses *batch* efisiensi penurunan yang diberikan cukup memuaskan, namun diperlukan sistem yang mudah dan efisien yaitu sistem kontinyu pada metode kolom agar operasi yang dilakukan mudah dan dapat diterapkan dalam skala yang lebih besar.

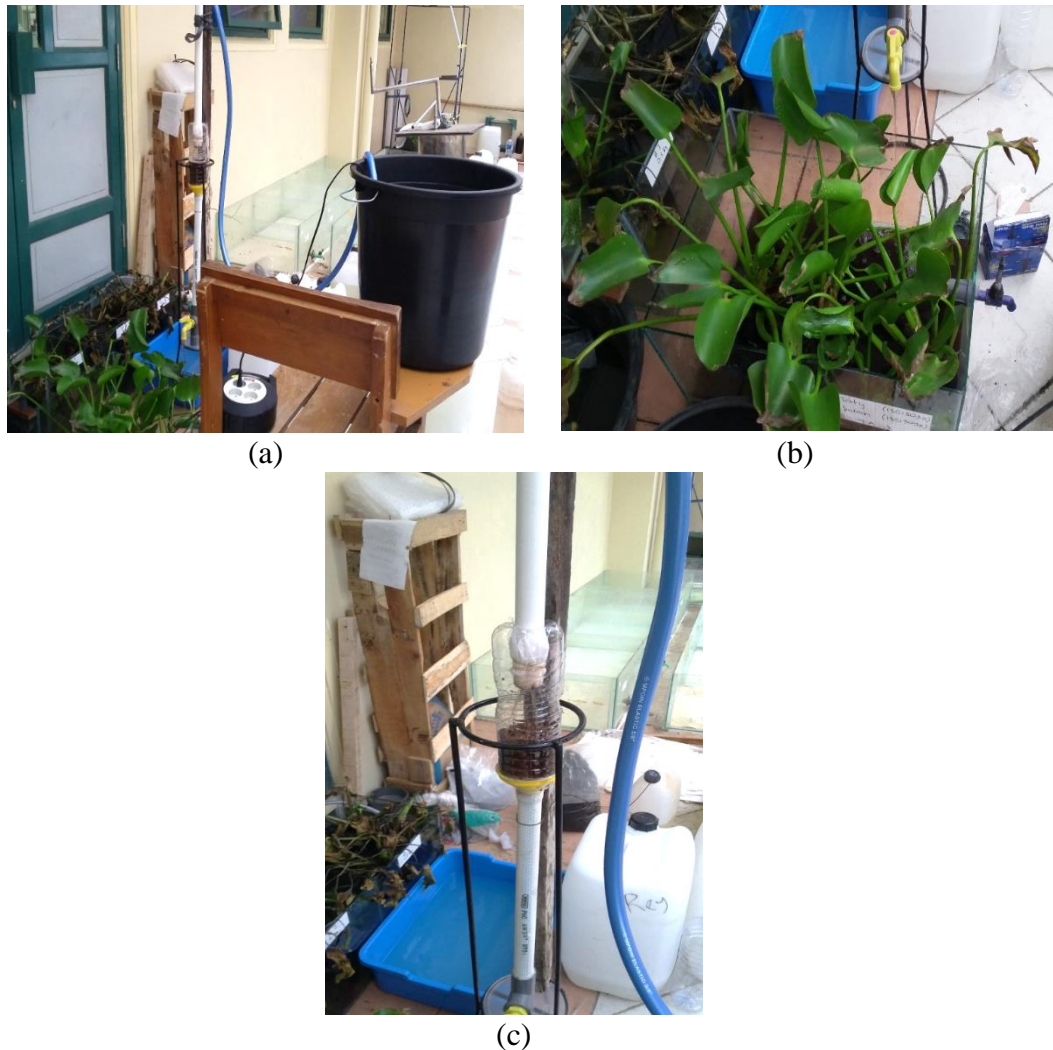
4.4.1 Pengujian Konsentrasi Awal Limbah Cair Penyamakan Kulit

Dalam melakukan proses kombinasi pengolahan adsorpsi dan fitoremediasi terlebih dahulu dilakukan pengujian untuk konsentrasi awal limbah cair penyamakan kulit. Pengujian konsentrasi awal pada limbah cair penyamakan kulit bertujuan sebagai suatu acuan untuk konsentrasi awal yang ditetapkan dalam melakukan pengoperasian reaktor selanjutnya. Hasil dari konsentrasi awal limbah cair penyamakan kulit juga akan dibandingkan dengan Baku mutu Limbah Cair Bagi Usaha dan atau Kegiatan Industri Penyamakan Kulit. Peraturan Menteri Lingkungan Hidup No. 5 Tahun 2014.

Diketahui dari hasil pengujian konsentrasi awal bahwa konsentrasi awal limbah cair penyamakan kulit untuk parameter COD sebesar 635,83 mg/L dan parameter TSS sebesar 64,80 mg/L hal ini menunjukkan bahwa konsentrasi parameter COD dan TSS pada limbah penyamakan kulit belum memenuhi syarat untuk dapat dibuang ke badan air, karena masih berada diatas batas normal yaitu untuk parameter COD sebesar 110 mg/L dan parameter TSS sebesar 50 mg/L yang merupakan ambang batas dari Baku Mutu Limbah Cair Cair Bagi Usaha dan atau Kegiatan Industri Penyamakan Kulit berdasarkan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 5 Tahun 2014 dan harus melalui pengolahan terlebih dahulu untuk menurunkan kadar polutan sebelum dilepaskan ke lingkungan.

4.4.2 Pengoperasian Reaktor

Pengoperasian reaktor kombinasi pengolahan adsorpsi dan fitoremediasi dilakukan setelah mengetahui kondisi optimum adsorpsi yang diperoleh dari proses *batch*. Rangkaian reaktor disusun seperti Gambar 4.9 untuk selanjutnya dialiri limbah cair penyamakan kulit.



Gambar 4.11 (a) Rangkaian Reaktor Kombinasi Adsorpsi dan Fitoremediasi (b) Tampilan Bak Fitoremediasi (c) Tampilan Kolom Adsorpsi

Pada bagian kolom reaktor diisi oleh adsorben dengan berat 40 gr dengan ketinggian 10 cm dan diberi saringan dibagian atas dan bawah kolom agar pada saat pengaliran limbah adsorben tidak akan lepas dan terbawa setelah proses adsorpsi.

Limbah cair penyamakan kulit ditampung dalam bak *inlet* limbah. Bak *inlet* limbah berfungsi untuk menampung limbah cair sebelum dialirkan ke reaktor. Limbah cair dialirkan melalui selang ke bagian kolom adsorpsi dengan menggunakan bantuan pompa. Limbah cair dari bak *inlet* akan menuju ke kolom adsorpsi, dan setelah itu akan keluar dan diolah lagi pada bak fitoremediasi.

Sebanyak 35 L limbah cair penyamakan kulit dalam bak *inlet* dialirkan dalam sekali pengaliran, hasil dari kolom adsorpsi akan diolah lagi dalam bak fitoremediasi oleh tanaman eceng gondok selama 14 hari dimana pengambilan sampel dilakukan setiap hari, hal ini bertujuan agar dapat lebih mengetahui perbandingan penurunan yang lebih baik. *Output* dari proses kolom adsorpsi juga tetap dilakukan pengambilan sampel setiap hari sebagai kontrol. *Output* yang dihasilkan dari kolom adsorpsi dan setelah melalui proses fitoremediasi akan dilihat untuk diketahui efektifitas dari proses adsorpsi serta melalui kombinasi pengolahan adsorpsi dan fitoremediasi.



Gambar 4.12 *Output* dari Kolom Adsorpsi Sebagai Kontrol

4.4.3 Penurunan Kontaminan COD dan TSS

Penelitian dengan kombinasi adsorpsi kolom dan fitoremediasi yang dilakukan selama 14 hari dan diperoleh data hasil penelitian terhadap parameter COD dan TSS sebagai berikut pada table 4.8 dan 4.9.

Tabel 4.8 Data Konsentrasi dan Efisiensi *Removal* Parameter COD Setelah Proses Adsorpsi (Kontrol) dan Proses Adsorpsi-Fitoremediasi

Hari	Suhu Bak Kontrol (°C)	pH Bak Kontrol	Konsentrasi COD pada Adsorpsi (Kontrol) (mg/L)	Efisiensi COD pada Adsorpsi (Kontrol) (%)	Suhu Bak Fitoremediasi (°C)	pH Bak Fitoremediasi	Konsentrasi COD pada Adsorpsi-Fitoremediasi (mg/L)	Efisiensi COD pada Adsorpsi-Fitoremediasi (%)
0	26	7,8	635,83	0,00%	25	7,6	635,83	0,00%
1	26	7,7	589,00	7,37%	24	7,8	455,90	28,30%
2	25	7,9	560,05	11,92%	25	7,6	60,00	39,96%
3	26	7,7	513,70	19,21%	25	7,6	344,38	45,84%
4	26	7,9	461,23	27,46%	24	7,6	278,63	56,18%
5	26	7,8	453,97	28,60%	24	7,6	453,97	61,09%
6	25	7,9	452,33	28,86%	24	7,6	452,33	61,22%
7	25	7,9	433,70	31,79%	24	7,7	244,32	61,58%
8	26	7,8	426,58	32,91%	25	7,7	241,37	62,04%
9	26	7,8	432,61	31,96%	23,5	7,6	240,82	62,13%
10	26	7,8	430,18	32,34%	24	7,5	210,45	66,90%
11	26	7,8	425,70	33,05%	24	7,6	192,51	69,72%
12	26	7,8	412,24	35,17%	25	7,5	188,03	70,43%
13	25	7,8	358,43	43,63%	23	7,5	165,61	73,95%
14	25	7,7	389,82	38,69%	24	7,5	161,12	74,66%

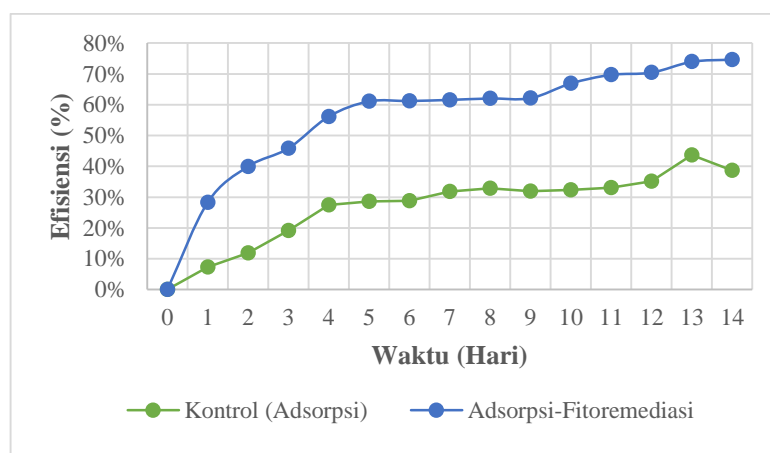
Sumber : Data Primer, 2017

Tabel 4.9 Data Konsentrasi dan Efisiensi *Removal* Parameter TSS Setelah Proses Adsorpsi (Kontrol) dan Proses Adsorpsi-Fitoremediasi

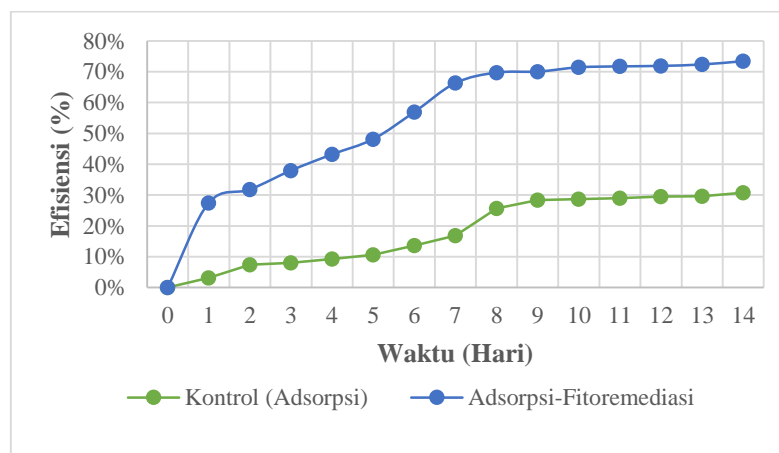
Hari	Suhu Bak Kontrol (°C)	pH Bak Kontrol	Konsentrasi TSS pada Adsorpsi (Kontrol) (mg/L)	Efisiensi TSS pada Adsorpsi (Kontrol) (%)	Suhu Bak Fitoremediasi (°C)	pH Bak Fitoremediasi	Konsentrasi TSS pada Adsorpsi-Fitoremediasi (mg/L)	Efisiensi TSS pada Adsorpsi-Fitoremediasi (%)
0	26	7,8	64,80	0,00%	25	7,6	64,80	0,00%
1	26	7,7	62,80	3,09%	24	7,8	47,00	27,47%
2	25	7,9	60,00	7,41%	25	7,6	44,20	31,79%
3	26	7,7	59,60	8,02%	25	7,6	40,20	37,96%
4	26	7,9	58,80	9,26%	24	7,6	36,80	43,21%
5	26	7,8	58,80	10,65%	24	7,6	33,60	48,15%
6	25	7,9	56,00	13,58%	24	7,6	27,90	56,94%
7	25	7,9	53,90	16,82%	24	7,7	21,80	66,36%
8	26	7,8	48,20	25,62%	25	7,7	19,60	69,75%
9	26	7,8	46,40	28,40%	23,5	7,6	19,40	70,06%
10	25	7,7	46,20	28,70%	24	7,5	18,50	71,45%
11	26	7,8	46,00	29,01%	24	7,6	18,30	71,76%
12	26	7,8	45,70	29,48%	25	7,5	18,20	71,91%
13	25	7,8	45,60	29,63%	23	7,5	17,90	72,38%
14	25	7,7	44,90	30,71%	24	7,5	17,20	73,46%

Sumber : Data Primer, 2017

Dari data Tabel 4.8 dan 4.9 diatas kemudian diplotkan dalam sebuah grafik hubungan antara kemampuan efisiensi *removal* proses adsorpsi serta kombinasi proses adsorpsi dan fitoremediasi pada parameter COD dan TSS dalam limbah penyamakan. Grafik tersebut dapat dilihat pada Gambar 4.11 Dan 4.12.



Gambar 4.13 Efisiensi *Removal* Proses Adsorpsi serta Kombinasi Proses Adsorpsi dan Fitoremediasi pada Parameter COD



Gambar 4.14 Efisiensi *Removal* Proses Adsorpsi serta Kombinasi Proses Adsorpsi dan Fitoremediasi pada Parameter TSS

Berdasarkan grafik yang ditampilkan pada Gambar 4.11 dan 4.12 secara keseluruhan hasil perlakuan pengolahan pada proses kolom adsorpsi dan kombinasi adsorpsi fitoremediasi untuk bahan organik COD dan TSS dalam limbah cair penyamakan kulit menunjukkan penurunan yang signifikan dari hari ke-0 hingga hari

ke-14. Pada pengolahan dengan kombinasi adsorpsi dan fitoremediasi tingkat efisiensi *removal* telah melewati angka $> 50\%$.

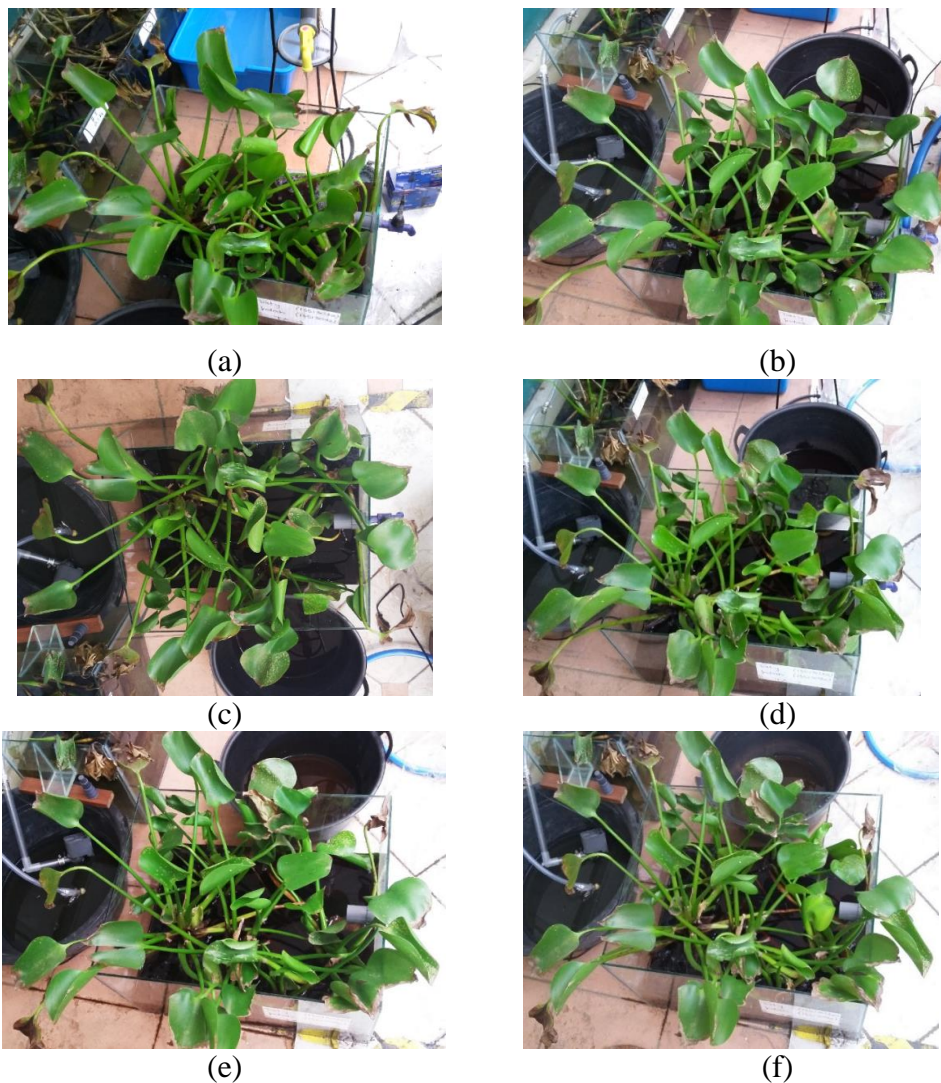
Hasil analisa data dari pengambilan sampel setiap hari dalam kurun waktu 14 hari, konsentrasi COD seperti yang ditampilkan pada table 4.8 setelah hari ke-13 mengalami penurunan dengan efisiensi tertinggi sebesar 43,63% dengan konsentrasi sebesar 389,82 mg/L setelah proses adsorpsi dan meningkat menjadi 74,66% dengan konsentrasi akhir sebesar 161,12 mg/L pada hari ke-14 setelah dikombinasikan dengan tanaman eceng gondok pada proses fitoremediasi. Penurunan konsentrasi COD menunjukkan terjadinya penurunan beban organik dalam limbah sehingga jumlah oksigen yang diperlukan untuk mengoksidasi beban organik menjadi berkurang. Hal ini disebabkan terjadinya penyerapan dari akar tanaman eceng gondok sehingga mengadsorpsi polutan yang terdapat dalam air limbah.

Namun pada hari terakhir dalam proses adsorpsi kolom terlihat penurunan efisiensi dari 43,63% menjadi 38,69% pada bak kontrol, hal ini disebabkan oleh padatan yang mengendap di dasar bak kontrol adsorpsi sehingga kepekatan limbah cair menjadi meningkat, selain itu suhu limbah yang cukup hangat mengakibatkan nilai DO menurun sehingga oksigen yang diperlukan dalam mengoksidasi beban organik menjadi berkurang akibatnya terjadi kenaikan nilai COD.

Hal yang sama juga terjadi pada konsentrasi TSS yang menunjukkan penurunan seiring waktu setelah melewati proses pengolahan. Konsentrasi TSS diawal adalah 64,80 mg/L, setelah melewati adsorpsi kolom konsentrasi TSS berangsur menurun sebesar 44,90 mg/L dengan efisiensi *removal* yang didapat adalah 30,71%. Kadar penurunan konsentrasi pada bak kontrol hanya mengalami penurunan yang relatif kecil dikarenakan terjadi akibat adanya gaya gravitasi yang memungkinkan terjadinya pengendapan selama proses berlangsung.

Konsentrasi TSS mengalami penurunan yang pesat ketika dikombinasikan dengan proses fitoremediasi dimana konsentrasi TSS menjadi 17,20 mg/L dengan efisiensi *removal* 73,46%. Penurunan konsentrasi TSS terjadi karena adanya proses penyerapan oleh tanaman eceng gondok, dekomposisi bahan organik dan mengendapnya hasil dekomposisi bahan organik. Dekomposisi bahan organik

diakibat mekanisme pada tanaman air dimana terjadi proses fitodegradasi pada akar tanaman eceng gondok. Pada proses ini terjadi penguraian kontaminan oleh mikroba pada akar tanaman. Zat-zat yang dapat terurai oleh mikroba yang terdapat di dalam akar tanaman berupa zat organik. Kontaminan yang terserap oleh tanaman air akan dilanjutkan dan terdistribusi ke dalam berbagai organ tanaman dan dijadikan sumber nutrisi bagi tanaman eceng gondok sebagai bagian dari proses fotosintesis.



Gambar 4.15 (a) Kondisi Tanaman Pada Hari Ke-0, (b) Kondisi Tanaman Pada Hari Ke-3, (c) Kondisi Tanaman Pada Hari Ke-6, (d) Kondisi Tanaman Pada Hari Ke-9, (e) Kondisi Tanaman Pada Hari Ke-12, (f) Kondisi Tanaman Pada Hari Ke-

Penyerapan bahan organik yang terkandung limbah penyamakan kulit pada eceng gondok dapat diamati melalui perubahan morfologi dari tanaman. Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.17. Gambar 4.17 (a) menunjukkan pada hari ke-0 kondisi tanaman eceng gondok masih segar dengan daun berwarna hijau. Seiring bertambahnya waktu seperti pada Gambar 4.17 (b) hingga 4.17 (f) dari hari ke-3 hingga hari ke-14 kondisi tanaman berubah yaitu dengan daun mulai layu pada bagian ujung dan tepinya serta mulai menggulung. Hal ini dapat diindikasikan bahwa seiring bertambah waktu, nilai akumulasi bahan organik yang terserap makin tinggi sehingga kondisi tanaman mulai tidak sehat.

Pengolahan limbah cair penyamakan kulit dengan sistem kombinasi adsorpsi kolom dan fitoremediasi oleh tanaman eceng gondok menunjukkan efektifitas *removal* yang lebih baik dibandingkan dengan hanya melalui proses adsorpsi kolom. Kinerja gabungan kombinasi pengolahan ini dapat terlihat dengan adanya penurunan di semua parameter yang diukur, sehingga terlihat bahwa kualitas effluen lebih baik dibandingkan kualitas influen dengan konsentrasi akhir dari COD sebesar 161,12 mg/L dan TSS sebesar 17,20 mg/L dengan efisiensi sebesar 74,66% dan 73,46% untuk kedua parameter. Secara fisik air olahan dengan kombinasi adsorpsi kolom dan fitoremediasi menghasilkan air yang lebih jernih dibandingkan air limbah sebelum diolah (influen) dan juga bak kontrol dari adsorpsi kolom. Perbandingan warna air limbah sebelum dan sesudah diolah dapat dilihat pada Gambar 4.18.



Gambar 4.16 Perbandingan Influen, Kontrol, dan Efluen dari Limbah Penyamakan Kulit dengan Penerapan Kombinasi Adsorpsi dan Fitoremediasi

Dari keseluruhan parameter yang dianalisa akan dibandingkan dengan baku mutu limbah cair bagi industri penyamakan kulit sesuai dengan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 5 Tahun 2014 tentang Baku mutu Limbah Cair Bagi Usaha dan atau Kegiatan Industri Penyamakan Kulit yang dibagi melalui proses penyamakan krom dan proses penyamakan menggunakan daun-daunan. Ditunjukkan bahwa setelah melewati sistem kombinasi pengolahan parameter TSS telah memenuhi baku mutu yang kegiatan industri penyamakan kulit yang sudah ditetapkan dengan konsentrasi akhir sebesar 17,20 mg/L dimana batas kadar aman yang ditetapkan sebesar 60 mg/L untuk proses penyamakan krom dan 50 mg/L untuk proses penyamakan daun-daunan. Pada parameter COD hanya memenuhi satu dari dua kriteria yang diharapkan. Dimana konsentasi COD akhir sebesar 161,12 mg/L telah berada dibawah baku mutu untuk penyamakan daun-daunan sebesar 180 mg/L, namun masih belum bisa dikatakan berada di bawah baku mutu pada kriteria batas ambang untuk penyamakan krom sebesar 110 mg/L. Dengan efluen yang diperoleh dari hasil kombinasi pengolahan yang telah memenuhi hampir semua baku mutu menunjukkan bahwa kombinasi pengolahan adsorpsi kolom dan fitoremediasi cukup efektif menurunkan kadar bahan organik dalam limbah cair penyamakan kulit. Untuk selebihnya dalam meningkatkan efisiensi perlu adanya penambahan waktu kontak pada proses fitoremediasi agar semakin meningkatkan penyerapan polutan dalam limbah.