

**TESIS**  
***PRETREATMENT* AIR TERPRODUKSI**  
**DARI SUMUR MINYAK MENGGUNAKAN**  
**SERAT KAPUK SEBAGAI ABSORBEN UNTUK**  
**PENGOLAHAN LANJUTAN PADA MEMBRAN**  
**ULTRAFILTRASI**



**ELVITA**

**03012682024004**

**PROGRAM STUDI MAGISTER TEKNIK KIMIA**  
**JURUSAN TEKNIK KIMIA**  
**FAKULTAS TEKNIK**  
**UNIVERSITAS SRIWIJAYA**  
**TAHUN 2022**

**TESIS**  
***PRETREATMENT* AIR TERPRODUKSI**  
**DARI SUMUR MINYAK MENGGUNAKAN**  
**SERAT KAPUK SEBAGAI ABSORBEN UNTUK**  
**PENGOLAHAN LANJUTAN PADA MEMBRAN**  
**ULTRAFILTRASI**

**Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Mendapatkan**  
**Gelar Magister Teknik (M.T.) Pada Fakultas Teknik**  
**Universitas Sriwijaya**



**ELVITA**  
**03012682024004**

**PROGRAM STUDI MAGISTER TEKNIK KIMIA**  
**JURUSAN TEKNIK KIMIA**  
**FAKULTAS TEKNIK**  
**UNIVERSITAS SRIWIJAYA**  
**TAHUN 2022**

**HALAMAN PENGESAHAN**

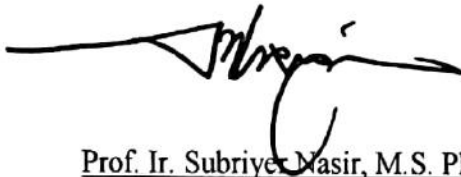
**PRETREATMENT AIR TERPRODUKSI  
DARI SUMUR MINYAK MENGGUNAKAN  
SERAT KAPUK SEBAGAI ABSORBEN UNTUK  
PENGOLAHAN LANJUTAN PADA MEMBRAN  
ULTRAFILTRASI**

**TESIS**

**Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Mendapatkan  
Gelara Magister Teknik (M.T.) Pada Fakultas Teknik  
Universitas Sriwijaya**

Palembang, Juni 2022  
Menyetujui,  
Pembimbing I

Pembimbing II



Prof. Ir. Subriyet Nasir, M.S. Ph.D  
NIP. 19600909 1987031004



Dr. David Bahrin, S.T., M.T.  
NIP. 19801031 2005011003

Mengetahui,

Dekan Fakultas Teknik  
Universitas Sriwijaya,

Ketua Jurusan Teknik Kimia



Prof. Dr. Eng. Ir. H. Joni Arliansyah, MT  
NIP. 19670615 199512 1002



Dr. Tuti Indah Sari, S.T., M.T.  
NIP. 19750201 200012 2001

## HALAMAN PERSETUJUAN

Karya tulis ilmiah berupa Laporan Tesis dengan judul “ Pretreatmen Air Terproduksi Dari Sumur Minyak Menggunakan Serat Kapuk Sebagai Absorben Untuk pengolahan Lanjutan Pada Membran Ultrafiltrasi “ telah dipertahankan di hadapan Tim Penguji Karya Tulis Ilmiah Program Studi Magister Teknik Kimia, Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya pada tanggal Juni 2022

Palembang, Juni 2022

Tim Penguji Karya Tulis Ilmiah berupa Laporan Tesis

Ketua :

1. Prof.Ir.H. M. Said, M.Sc  
NIP. 196108121987031003

(  )

Anggota :

1. Prof. Hj. Tuty Emilia Agustina, Ph.D  
NIP. 197208092000032001
2. Dr. Ir. Hj. Susila Arita, DEA  
NIP. 196010111985032002
3. Dr. Ir. H. M. Hatta Dahlan, M.Eng  
NIP. 195910191987111001

(  )  
(  )  
(  )

Mengetahui,  
Dekan Fakultas Teknik  
Universitas Sriwijaya,




Prof. Dr. Eng Ir. H. Joni Arliansyah, MT  
NIP. 19670615 199512 1002



Ketua Jurusan Teknik Kimia

Dr. Tuti Indah Sari, S.T., M.T.  
NIP. 19730201 200012 2001

(  )

## HALAMAN PERNYATAAN INTEGRITAS

Yang bertanda tangan dibawa ini :

Nama : ELVITA

NIM : 03012682004004

Judul : *Pretreatment* Air Terproduksi Dari Sumur Minyak Menggunakan Serat Kapuk Sebagai Absorben Untuk pengolahan Lanjutan Pada Membran Ultrafiltrasi

Menyatakan bahwa Tesis saya merupakan hasil karya sendiri di dampingi tim pembimbing dan bukan hasil penjiplakan/plagiat. Apabila ditemukan unsur penjiplakan/plagiat dalam laporan Tesis ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademik dari Universitas Sriwijaya sesuai aturan yang berlaku.

Demikian pernyataan ini saya buat dalam keadaan sadar dan tanpa ada paksaan dari pihak siapapun.



Palembang, Juni 2020



ELVITA

NIM 03012682004004

## RINGKASAN

*Pretreatment* Air Terproduksi Dari Sumur Minyak Menggunakan Serat Kapuk Sebagai Adsorben Untuk pengolahan Lanjutan Pada Membran Ultrafiltrasi

Elvita Rusdi<sup>1</sup>, Subriyer Nasir<sup>2\*</sup>, David Bahrin<sup>2</sup>

Pretreatment of Produced Water from Oil and Gas Reservoir Using Kapok Fibers As An Adsorbent And Ultrafiltration Membrane

xix + 77 halaman, 11 Tabel, 22 Gambar, 7 Lampiran

### RINGKASAN

Penelitian dilakukan di sebuah laboratorium untuk mengolah air terproduksi dengan adsorben serat kapuk, diaktifkan menggunakan natrium hidroksida (NaOH) 5% dan air dengan temperatur 95,5°C dilanjutkan dengan membran ultrafiltrasi untuk menurunkan konsentrasi total padatan terlarut (TDS), barium, dan fenol. Variabel penelitian adalah waktu operasi 30, 60, dan 90 menit, dan debit sampel air terproduksi adalah 5 L/menit, 6 L/mnt, dan 7 L/mnt. Mikroskop elektron pemindaian (SEM-EDX) menyelidiki permukaan serat kapuk. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penurunan TDS, barium, dan fenol oleh serat kapuk teraktivasi adalah masing-masing 57,5%, 66,77%, 72,55%, selanjutnya perlakuan filtrat dari kolom serat kapuk pada membran ultrafiltrasi (UF) menunjukkan penyisihan TDS, barium, dan fenol mencapai 73,15%, 99,76%, dan 42,44% pada laju aliran umpan 5 L/mnt dan waktu operasi 90 menit. Penghilangan total untuk sistem yang diusulkan saat ini adalah 94,31% TDS, 99,92% barium, dan 84,20% fenol. Pretreatment air terproduksi menggunakan penyerap serat kapuk diikuti dengan membran UF menurunkan konsentrasi TDS, barium, dan fenol dari air terproduksi. Akhirnya, permeat dari membran ultrafiltrasi mengikuti standar kualitas air limbah Indonesia.

Kata kunci ; Adsorben, Adsorben Alami, Air Terproduksi, Serat Kapuk, Ultrafiltrasi

## SUMMARY

Pretreatment Of Produced Water From Oil And Gas Reservoir Using Kapok Fibers As An Adsorbent And Ultrafiltration Membrane

Elvita Rusdi<sup>1</sup>, Subriyer Nasir<sup>2\*</sup>, David Bahrin<sup>2</sup>

*Pretreatment Air Terproduksi Dari Sumur Minyak Menggunakan Serat Kapok Sebagai Absorben Untuk pengolahan Lanjutan Pada Membran Ultrafiltrasi*

xix + 77 halaman, 11 Tabel, 22 Gambar, 7 Lampiran

### SUMMARY

*An experimental laboratory was conducted to treat produced water by kapok fiber adsorbent, activated using sodium hydroxide (NaOH) 5% wt. and hot water at 100 °C followed by ultrafiltration membrane to reduce total dissolved solids (TDS), barium, and phenol concentration. The research variables were operating times of 30, 60, and 90 min, and the flow rate of produced water samples was 5 L/min, 6 L/min, and 7 L/min. The scanning electron microscope (SEM-EDX) investigated the kapok fiber's surface. The results showed that the decrease in TDS, barium, and phenol by activated kapok fibers was 57.5%, 66.77%, 72.55%, respectively. Further, filtrate treatment from kapok fibers column in ultrafiltration membranes (UF) showed the removal of TDS, barium, and phenol removal achieved 73.15%, 99.76%, and 42.44% at a feed flow rate of 5 L/min and operation time of 90 min. The total removal for the currently proposed system is 94.31% TDS, 99.92% barium, and 84.20% phenol. Produced water pretreatment using kapok fibers adsorbent followed by UF membrane reduce TDS, barium, and phenol concentration from produced water. Finally, the permeates of the ultrafiltration membrane followed Indonesian standards for wastewater quality.*

**KEYWORDS:** Absorbent, Kapok fiber, Natural Absorbent, Produced Water, Ultrafiltration.

## KATA PENGANTAR

Puji dan syukur atas kehadiran Tuhan Yang Maha Esa berkat Rahmat dan Hidayah-Nya sehingga laporan tesis dengan judul “*Pretreatment* Air Terproduksi Dari Sumur Minyak Menggunakan Serat Kapuk Sebagai Absorben Untuk pengolahan Lanjutan Pada Membran Ultrafiltrasi” dapat diselesaikan dengan baik. Isi laporan tesis ini semoga dapat bermanfaat dan berguna bagi pembaca dan dengan harapan semoga absorben alami yang tersedia melimpah di alam dapat menjadi salah satu alternatif atau acuan yang baik dalam menjaga lingkungan khususnya lingkungan yang tercemar akibat limbah cair.

Laporan tesis ini merupakan salah satu syarat untuk memperoleh gelar Magister Teknik (M.T.) pada Program Studi Teknik Kimia BKU Teknologi Lingkungan Program Pascasarjana Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya. Besar harapan isi tesis ini dapat bermanfaat secara nyata bagi kehidupan, dan diharapkan mahasiswa dapat melihat dan mempraktekkan secara langsung aplikasi dari ilmu-ilmu yang telah diterima di bangku kuliah.

Laporan hasil penelitian tesis ini tidak dapat terselesaikan tanpa bantuan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, ucapan terima kasih diberikan penulis kepada

1. Bapak Prof. Dr. Eng. Ir. H. Joni Arliansyah, M.T., selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya
2. Ibu Dr. Tuti Inda Sari, S.T., M.T. selaku Ketua Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya
3. Ibu Dr. Fitri Hadiah, S.T., M.T. selaku Sekretaris Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya
4. Bapak Dr. David Bahrin, S.T., M.T. selaku Koordinator Program Studi Magister Teknik Kimia dan selaku dosen pembimbing II
5. Bapak Prof. Ir Subriyer Nasir, M.S. Ph.D. selaku dosen pembimbing I
6. Kedua Orang tua (alm/ alma) abah Rusdi dan ibu Markona dan suami Ahmad Wandu Susanto serta anak ku Keyza dan Alisya penyemangat



dalam menyelesaikan tesis ini serta memberikan dukungan moral dan finansial

7. Adik adik ku beserta keluarganya, Jemmi tim editor, Vina dan Rara adek merasa sahabat penuh suka duka dan teman-teman seperjuangan Magister Teknik Kimia 2020 serta semua pihak yang selalu memberikan dukungan dan semangat yang tidak dapat disebutkan satu persatu.

Akhir kata diharapkan kritik dan saran yang bersifat ilmiah dan membangun agar laporan hasil penelitian tesis ini dapat lebih bermanfaat sebagaimana mestinya.

Palembang, Juni 2022

Penulis

## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL .....	i
HALAMAN PENGESAHAN .....	iii
HALAMAN PERSETUJUAN .....	iv
HALAMAN PERNYATAAN INTEGRITAS.....	v
RINGKASAN .....	vi
SUMMARY .....	vii
KATA PENGANTAR .....	viii
DAFTAR ISI .....	x
DAFTAR TABEL .....	xiv
DAFTAR GAMBAR .....	xv
DAFTAR ISTILAH DAN SINGKATAN .....	xvii
DAFTAR SIMBOL .....	xviii
DAFTAR LAMPIRAN .....	xix
BAB I PENDAHULUAN	
1.1. Latar Belakang .....	1
1.2. Rumusan Masalah .....	5
1.3. Tujuan Penelitian .....	5
1.4. Manfaat Penelitian .....	6
1.5. Ruang Lingkup .....	7
1.6. Hipotesis.....	7
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1. Air Limbah .....	8
2.1.1. Definisi Air Limbah.....	8
2.1.2. Karakteristik Air Limbah .....	8
2.1.2.1. Karakteristik Fisik.....	8
2.1.2.2. Karakteristik Kimia.....	9
2.1.2.3. Karakteristik Biologi.....	10
2.2. Air Terproduksi ( <i>Produced Water</i> ).....	10
2.2.1. Pemanfaatan Air Terproduksi.....	11

2.2.2. Karakteristik Air Terproduksi .....	11
2.2.3. Baku Mutu Air Limbah <i>Produced Water</i> .....	15
2.3. Pengolahan Air Terproduksi .....	15
2.3.1. Filtrasi .....	16
2.3.2. Adsorpsi.....	16
2.3.3. Flotasi .....	16
2.3.4. Presipitasi.....	16
2.3.5. Ultrafiltrasi.....	17
2.4. Parameter Pencemar Air Terproduksi.....	
2.4.1. Minyak dan Lemak.....	17
2.4.2. Logam Berat .....	18
2.4.3. Fenol .....	19
2.5. Kapuk dan Serat Kapuk .....	19
2.5.1. Metode Pengolahan Serat Kapuk .....	21
2.7.1.1. Alkilasi.....	21
2.7.1.2. Asetilasi.....	21
2.7.1.3. Oksidasi.....	22
2.7.1.4. Air Panas .....	22
2.6. Membran .....	23
2.6.1. Prinsip Pemisahan dengan Membran .....	24
2.6.2. Membran Ultrafiltrasi .....	24
2.7. <i>Spektrofotometri Serapan Atom (SSA)</i> .....	26
2.8. <i>Scanning Electron Microscope (SEM)</i> .....	26
2.9. Penelitian Terdahulu .....	26
 <b>BAB III METODOLOGI PENELITIAN</b>	
3.1. Waktu dan Tempat .....	30
3.2. Alat dan Bahan.....	30
3.2.1. Alat .....	30
3.2.2. Bahan .....	31
3.3. Variabel Penelitian .....	31
3.4. Prosedur Penelitian .....	31
3.4.1. Serat Kapuk Yang Diaktivasi .....	31

3.4.2. serat kapuk Yang Tidak Diaktivasi.....	31
3.4.3. Proses Pengolahan Air Terproduksi .....	31
3.5. Metode Pengolahan Data .....	32
3.6. Analisa Sample.....	33
3.4.1. Analisa Derajad Keasaman (pH), TDS.....	33
3.4.2. Analisa Fenol .....	33
3.4.3. Analisa Barium .....	33
3.4.4. Analisa SEM-EDX .....	34
3.4.5. Analisa SSA ( <i>Spektrofotometri Serapan Atom</i> ) .....	34
3.7. Diagram Penelitian.....	35
3.8. Skematik Rangkaian Alat.....	36
<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN</b>	
4.1. Hasil Analisis Awal Sampel Air Terproduksi .....	37
4.2. Pengaruh Waktu dan Laju Alir Filtrat Kolom Absorpsi terhadap pH Pada Air Terproduksi dengan Serat Kapuk .....	38
4.3. Pengaruh Waktu dan Laju Terhadap TDS Pada Serat Kapuk Tidak Diaktivasi .....	40
4.4. Pengaruh Waktu dan Laju Alir Umpan Terhadap TDS Pada Serat Kapuk Teraktivasi .....	43
4.5. Pengaruh Proses Absorpsi Serat Kapuk dan Membran UF Pada Konsentrasi Ion Barium ( $Ba^{2+}$ ) .....	48
4.6. Pengaruh Proses Absorpsi Serat Kapuk dan Membran UF Pada Konsentrasi Senyawa Organik ( $C_6H_6O$ ) .....	51
4.7. Perbandingan Komposisi Akhir Air Terproduksi Setelah Pengolahan dengan Serat Kapuk dan Membran Ultrafiltrasi .....	54
4.8. Perbandingan Hasil Analisa SEM-EDX Serat Kapuk Sebelum dan Sesudah Adsorpsi .....	55
<b>BAB V KESIMPULAN DAN SARAN</b>	
5.1. Kesimpulan .....	62
5.2. Saran.....	62
<b>DAFTAR PUSTAKA</b> .....	63
<b>LAMPIRAN</b> .....	68

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1.	Kandungan Air terproduksi.....	13
Tabel 2.2.	Baku Mutu Air Limbah Kegiatan Eksplorasi dan Produksi Migas Dari Pasilitas Darat (On-Shore) Baru.....	14
Tabel 2.3.	Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Republik Indonesia Baku Mutu Air Limbah Bagi Usaha Dan/Atau Kegiatan Yang Belum Memiliki Baku Mutu Air Limbah yang ditetapkan.....	15
Tabel 4.1.	Hasil Analisis Awal Air Terproduksi.....	35
Tabel 4.2.	Hasil Analisis pH Serat kapuk Tidak Diaktivasi dan Serat Kapuk teraktivasi .....	37
Tabel 4.3.	Persentase TDS Tertinggi pada Variasi Laju Alir Untuk Serat Kapuk Tidak Diaktivasi .....	39
Tabel 4.4.	Persentase TDS Tertinggi Pada Variasi Laju Alir Untuk Serat Kapuk Teraktivasi .....	42
Tabel 4.5.	Hasil Analisa Ion Barium Air Terproduksi Untuk Serat Kapuk Tidak Diaktivasi dan serat Kapuk Teraktivasi .....	46
Tabel 4.6.	Hasil Analisa Senyawa Organik Fenol (C <sub>6</sub> H <sub>6</sub> O) Air Terproduksi Serat Kapuk Tidak Diaktivasi Dan Serat kapuk teraktivasi .....	49
Tabel 4.7.	Perbandingan Komposisi awal dan akhir Air Terproduksi.....	52
Tabel 4.8.	Hasil Kadar Senyawa Awal dan Akhir SEM-EDX Serat Kapuk.	58

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1.	Buah Kapuk Kering.....	21
Gambar 2.2.	Scanning Electron Microscope.....	28
Gambar 3.1.	Diagram Penelitian.....	33
Gambar 3.2.	Skematik Rangkaian Alat.....	34
Gambar 4.1	Pengaruh Waktu Dan Laju Alir Umpan 5 L/min Terhadap TDS Dengan Variasi Laju Alir UF Pada Serat Kapuk Yang Tidak Diaktivasi .....	39
Gambar 4.2	Pengaruh Waktu Dan Laju Alir Umpan 6 L/min Terhadap TDS Dengan Variasi Laju Alir UF Pada Serat Kapuk Yang Tidak Diaktivasi .....	40
Gambar 4.3	Pengaruh Waktu Dan Laju Alir Umpan 7 L/min Terhadap TDS Dengan Variasi Laju Alir UF Pada Serat Kapuk Yang Tidak Diaktivasi .....	40
Gambar 4.4	Penurunan TDS Total Optimum Untuk Serat Kapuk Tidak Diaktivasi .....	41
Gambar 4.5	Pengaruh Waktu Dan Laju Alir Umpan 5 L/min Terhadap TDS Dengan Variasi Laju Alir UF Pada Serat Kapuk Teraktivasi.....	42
Gambar 4.6	Pengaruh Waktu Dan Laju Alir Umpan 6 L/min Terhadap TDS Variasi Laju Alir UF Pada Serat Kapuk Teraktivasi ...	43
Gambar 4.7	Pengaruh Waktu Dan Laju Alir Umpan 5 L/min Terhadap TDS Dengan Variasi Laju Alir UF Pada Serat Kapuk Teraktivasi.....	43
Gambar 4.8	Penurunan TDS Total Optimum Serat Kapuk Teraktivasi ....	44
Gambar 4.9	Pengaruh proses Absorpsi Pada Penurunan Konsentrasi Ion Barium (Ba) Serat Kapuk Tidak Diaktivasi .....	47
Gambar 4.10	Pengaruh proses Absorpsi Pada Penurunan Konsentrasi Ion Barium (Ba) Serat Kapuk Teraktivasi.....	48
Gambar 4.11	Pengaruh Proses Absorpsi penurunan Konsentrasi Senyawa Fenol (C <sub>6</sub> H <sub>6</sub> O) Untuk Serat Kapuk Tidak Diaktivasi .....	50

Gambar 4.12	Pengaruh Proses Absorpsi Pada penurunan Konsentrasi Senyawa Fenol (C <sub>6</sub> H <sub>6</sub> O) Untuk Serat Kapuk Teraktivasi.....	51
Gambar 4.13	Serat Kapuk Sebelum Diaktivasi .....	54
Gambar 4.14	Serat kapuk Tidak Diaktivasi Sudah Mengalami Absorpsi ..	54
Gambar 4.15	Serat kapuk Teraktivasi Sudah Mengalami Absorpsi .....	55
Gambar 4.16	a. Hasil SEM Serat Kapuk Sebelum Aktivasi.....	56
	b. Hasil SEM Serat Kapuk Tidak Aktivasi Setelah proses Absorpsi.....	56
	c. Hasil SEM Serat Kapuk Teraktivasi Setelah proses Absorpsi.....	57

## DAFTAR ISTILAH DAN SINGKATAN

TDS	<i>Total Dissolved Solid</i>
TSS	<i>Total Suspended Solid</i>
COD	<i>Chemical Oxygen Demand</i>
SEM	<i>Scanning Electron Microscopy</i>
BTX	<i>Benzena Toluen Xilen</i>
UF	Ultrafiltrasi
MF	Mikrofiltrasi
DO	<i>Dissolved Oxygen</i>
BOD	<i>Biochemical Oxigen Demand</i>
SSF	<i>Slow Sand Filtration</i>
RPS	<i>Rapid Sand Filtration</i>
GAC	<i>Granular Activated Carbon</i>
FFA	Asam Lemak Bebas
OH	Hidroksil
PE	Polyethylene
Jv	Fluks volume
R	Koefisien Rejeksi
O&G	<i>Oil &amp; Grases</i>
MWCO	<i>molecular weight cut off</i>
SSA	<i>Spektrofotometri Serapan Atom</i>
SE	<i>Secondary Elecetrans</i>
BSE	<i>Backscattered Electron (BSE)</i>
XRD	<i>X-Ray Diffraction</i>
FITR	<i>Fourier Transform Infra Red</i>
XPS	<i>X-Ray Photeelectron Spectroscopy</i>
AOP	<i>Advanced Oxidation process</i>
PW	<i>Produced water</i>
PVC	<i>Poly vinyl Chlorida</i>
PES	<i>Poly Eter Sulphon</i>



## DAFTAR SIMBOL

<i>J<sub>v</sub></i>	<i>Fluks Volume</i>	ml/cm <sup>2</sup> .det
<i>V</i>	<i>Volume</i>	L
<i>A</i>	<i>Luas Permukaan</i>	cm <sup>2</sup>
<i>t</i>	<i>Waktu</i>	det
<i>R</i>	<i>Koefisien Rejeksi</i>	%

## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Peraturan Gubernur No 8 Tahun 2012 Tentang Baku Mutu Limbah C air Bagi Kegiatan Industri, Hotel, Rumah Sakit, Domestik Dan Pertambangan Batubara .....	66
Lampiran 2 Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Republik Indonesia Nomor 5 Tahun 2014 Tentang Baku Mutu Air Limbah .....	67
Lampiran 3 Alat dan Bahan .....	68
Lampiran 4 Hasil Penelitian.....	71
Lampiran 5 Dokumentasi Penelitian.....	72
Lampiran 6 Kandungan Air terproduksi.....	73
Lampiran 7 Penelitian Terdahulu.....	75

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1. Latar Belakang**

Langkahnya sumber air bersih yang dihadapi dunia saat ini akan menimbulkan dampak serius sehingga dibutuhkan cara yang efisien dan efektif untuk mengatasinya. Salah satu cara peningkatan air bersih ini adalah pemanfaatan air limbah dari berbagai sumber. Industri migas salah satu industri penghasil limbah cair terbesar berupa air terproduksi. Air terproduksi mengandung senyawa organik dan anorganik, lemak, hidrokarbon yang terlarut, minyak serta garam (Dickhout dkk., 2017). Air terproduksi mengandung sebagian bahan kimia yang ditambahkan selama kegiatan proses produksi dilakukan. Air terproduksi adalah setiap air yang ada di reservoir hidrokarbon, air injeksi, air proses yang diekstraksi dan di produksi dengan minyak mentah atau gas alam dan terbawa ke permukaan (Al-Ghouti dkk., 2019).

Faktor – faktor yang mempengaruhi karakteristik air terproduksi antara lain kondisi geografis lapangan, iklim, geologi lapangan, umur reservoir dan bahan kimia yang ditambahkan pada saat proses produksi. Karakteristik air terproduksi bervariasi untuk tiap lokasi sesuai dengan kondisi geografis wilayahnya. Air terproduksi memiliki komposisi kompleks, mengandung berbagai senyawa, minyak dan lemak, logam berat, senyawa organik dan anorganik (Jiménez dkk., 2018). Supaya air terproduksi tidak mencemari lingkungan maka harus diolah sebelum dialirkan ke lingkungan dan harus sesuai baku mutu yang ditetapkan yaitu Peraturan Gubernur Sumatera Selatan No.8 Tahun 2012 dan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Republik Indonesia No 5 tahun 2014.

Minyak mentah, senyawa organik, senyawa anorganik, fenol, logam berat, dan gas terlarut yang terlarut pada air terproduksi sebagai zat pencemar dan sangat berbahaya bagi makhluk hidup yang berada disekitarnya. Salah satu dampak yang disebabkan oleh pencemaran logam berat terakumulasi di dalam tanah dan air

adalah dapat menyebabkan penyakit-penyakit berbahaya antara lain kanker dan bahkan dapat menyebabkan kematian (Duruibe dkk., 2017).

Unsur radioaktif cincin yang banyak dihasilkan oleh industri minyak dan gas berupa  $^{226}\text{Ra}$  dan  $^{228}\text{Ra}$ . Radium merupakan hasil air terproduksi yang diendapkan bersama dengan barium sulfat atau jenis kerak lainnya. Konsentrasi ion barium dalam air terproduksi secara alami dapat memberikan indikasi kuat tentang radium yang merupakan unsur radioaktif berbahaya (Al-Ghouti dkk., 2019).

Interaksi garam dalam air dapat memobilisasi radionuklida. Hal ini menyebabkan konsentrasi  $^{226}\text{Ra}$  Radium pada air terproduksi besar. Kontaminasi radioaktif menimbulkan risiko kesehatan seperti kanker, anemia, dan dapat menyebabkan kematian. Penelitian Lanjutan perlu dilakukan untuk mendapatkan metode pengolahan yang lebih efektif (Zolghadr dkk., 2021).

Sumber senyawa fenolik pada air terproduksi yaitu dari pemakaian bahan kimia pada saat proses produksi maupun proses pengilangan (Effendi dkk., 2020). Fenol yang terkandung dalam air terproduksi berbahaya bagi kehidupan organisme akuatik dan makhluk hidup yang ada disekitarnya jika langsung dibuang ke lingkungan tanpa pengolahan. Hal ini disebabkan karena senyawa fenol bersifat sangat beracun dan proses penguraiannya oleh sinar matahari sangat lambat.

Fenol merupakan senyawa semi-volatil yang ditemukan pada aliran air terproduksi. Fenol juga merupakan polutan utama dalam aliran air limbah dari minyak bumi, petrokimia, farmasi, pulp dan kertas, dan industri gasifikasi batubara (De Silva dkk., 2017). Beberapa metode telah dilakukan untuk menghilangkan polutan berbahaya yang ada pada air terproduksi seperti penelitian (Wulan dkk., 2018) melakukan penelitian terhadap air terproduksi yaitu *Pre-treatment* ( koagulasi, aerasi dan sedimentasi) dilakukan sebelum air masuk ke membran bioreaktor, *Pre-treatment* ini bertujuan untuk meringankan kerja membran bioreaktor. *Pre-treatment* ini dapat menurunkan turbiditas sedangkan (*Total Dissolved solid*) TDS naik.

Melihat data air terproduksi yang dihasilkan oleh salah satu sumur minyak PT. Pertamina adalah COD dengan nilai 430 mg/L, minyak dan lemak dengan

nilai 377 mg/L, H<sub>2</sub>S dengan nilai 0,14 mg/L, Ammonia dengan nilai 17,71 mg/L, Fenol sebesar 1,3 mg/L, dan TDS dengan nilai 12.670 mg/L (Surahman, 2020). Dari data ini terlihat masih adanya nilai yang belum sesuai dengan baku mutu yaitu Peraturan Gubernur Sumatera Selatan No.8 Tahun 2012 dan Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup Republik Indonesia Nomor 5 tahun 2014 (Permen LH RI No. 5 tahun 2014) . Sehingga perlu adanya pengolahan lanjutan dengan menggunakan metode yang tepat serta efektif untuk menurunkan kadar pencemar. Pengolahan air terproduksi diharapkan dapat mengurangi dampak lingkungan yang ditimbulkan dari pembuangan air terproduksi.

Saat ini banyak peneliti mengembangkan jenis absorben alami alternatif ketersediaannya melimpah di alam dengan biaya relatif rendah, biasanya berasal dari hasil pertanian dan peternakan. Serat alami yang banyak tersedia dan melimpah di alam adalah serat kapuk ( kapuk fiber) yang telah diberi perlakuan baik kimiawi maupun perlakuan fisika dapat digunakan dalam proses penyerapan atom logam ,minyak dan lemak (Arifin, 2016). Setelah diberi perlakuan kimia sifat kapok fiber berubah menjadi *hydrophyllic* sehingga selain menyerap minyak dan lemak juga dapat mengabsorpsi senyawa fenol secara efektif serta ion logam berat seperti: barium (Ba), kadmium (Cd) dan seng (Zn).

Tujuan utama dari penelitian ini untuk menghilangkan polutan pada air terproduksi dengan memanfaatkan serat kapuk yang sudah diaktivasi dengan NaOH. Penelitian yang dilakukan sebelumnya menggunakan detergen yang dicampur dengan air melalui proses pencucian, kapok fiber yang dihasilkan bersifat *hydrophilic* dan konsentrasi detergen yang ditambahkan pada saat proses pencucian sangat berpengaruh terhadap derajat *hydrophylic* (Arifin, 2016). Kapasitas kemampuan dalam menyerap minyak melalui tanaman jelantang dari 10,25 g/g turun menjadi 15,87 g/g melalui proses pengolahan menggunakan air panas (Viju dkk., 2020). Perendaman menggunakan air panas pada saat proses aktivasi dapat menghilangkan zat zat lilin dan zat pengotor pada permukaan serat kapuk (Arifin, 2016).

Penggunaan membran dalam pengolahan air terproduksi merupakan alternatif yang sangat baik karena tidak memerlukan energi yang terlalu besar. Ultrafiltrasi menghasilkan efisiensi penyerapan minyak tertinggi dibandingkan

jika menggunakan membran yang lain, tanpa menambahkan bahan kimia lainnya dan biaya energi yang rendah (Sherhan dkk., 2016). Membran UF dapat menolak 96% konsentrasi hidrokarbon total, sedangkan sekitar 54% untuk benzena, toluena, dan xilena (BTX), dan 95% untuk beberapa jenis logam berat seperti Zn, dan Cu (Andina, 2017).

Serat kapuk yang sudah mengalami perlakuan dapat dimanfaatkan untuk mengabsorpsi minyak dan logam berat karena memiliki sifat hidrofobik (tidak suka air) atau oleofilik. Serat kapuk mentah memiliki afinitas rendah dalam menyerap logam. Namun serat kapuk yang diolah dengan oksidasi kimia mampu menyerap logam Ba, Cu, dan Zn. Melalui proses modifikasi permukaan serat kapuk menjadi *superhydrophobic* dengan lapisan polimer sehingga kapasitas penyerapannya juga meningkat. Proses modifikasi absorben serat kapuk ini dapat menggunakan bermacam-macam jenis solven seperti HCl, NaClO<sub>2</sub>, NaOH, meningkatkan kemampuan serat kapuk dalam penyerapan minyak (Fawas, 2021).

Proses aktivasi menggunakan solven relatif sangat mahal sehingga membutuhkan biaya relatif tinggi, serta kemungkinan menghasilkan limbah beracun dan berbahaya bagi makhluk hidup dan lingkungan. Beberapa penelitian terus dikembangkan untuk mencari cara untuk modifikasi permukaan absorben selain menggunakan solven, salah satunya melalui penambahan air panas. Absorben berbahan lumut daun diolah dengan air panas bersuhu 80 °C memiliki kemampuan menyerap minyak diesel sebesar 8,274 g/g, hampir sama pengolahan dengan NaOH penyerapannya sebesar 8,991 g/g (Anuzyte dkk., 2018).

Serat tanaman jelantang yang diolah dengan air panas mampu menyerap minyak yang awalnya 10,453 g/g turun menjadi 15,892 g/g (Viju dkk., 2020). Zat pengotor dan zat lilin pada permukaan serat kapuk dapat dihilangkan dengan menggunakan air panas (Santos dkk., 2018). Penelitian yang kami lakukan ini untuk mengetahui kemampuan penggunaan serat kapuk sebagai absorben bagi ion logam berat dan minyak pada pengolahan air terproduksi berbasis membran ultrafiltrasi.

## 1.2. Rumusan Masalah

Permasalahan dalam penelitian ini adalah :

1. Bagaimana pengaruh *pretreatment* yaitu penambahan NaOH 5% dan air pada temperatur 95,5°C terhadap karakteristik serat kapuk dan pengaruhnya pada sistem pengolahan air terproduksi?
2. Bagaimana pengaruh laju alir umpan dan waktu operasi pada absorben dalam pengolahan air terproduksi?
3. Bagaimana pengaruh laju alir dan waktu optimum pada membran ultrafiltrasi dalam pengolahan air terproduksi menjadi air yang memenuhi syarat menggunakan serat kapuk dan membran ultrafiltrasi berdasarkan baku mutu lingkungan yang diatur oleh Peraturan Gubernur Sumatera Selatan No.8 Tahun 2012 dan Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup Republik Indonesia Nomor 5 tahun 2014?
4. Bagaimana karakteristik air terproduksi yang dihasilkan berdasarkan standar baku mutu air limbah yang diatur oleh Peraturan Gubernur Sumatera Selatan No.8 Tahun 2012 dan Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup Republik Indonesia Nomor 5 tahun 2014?

## 1.3. Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan :

1. Mengevaluasi dan menganalisis pengaruh *pretreatment* NaOH 5% dan air dengan temperatur 95,5°C terhadap karakteristik serat kapuk dalam pengolahan air terproduksi menjadi air yang memenuhi syarat berdasarkan baku mutu lingkungan yang diatur oleh Peraturan Gubernur Sumatera Selatan No.8 Tahun 2012 dan Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup Republik Indonesia Nomor 5 tahun 2014.
2. Mengevaluasi dan menganalisis pengaruh laju alir umpan dan waktu operasi pada absorben dalam pengolahan air terproduksi menjadi air yang memenuhi syarat berdasarkan baku mutu lingkungan yang diatur oleh Peraturan Gubernur Sumatera Selatan No.8 Tahun 2012 dan Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup Republik Indonesia Nomor 5 tahun 2014.

3. Mengevaluasi dan menganalisis kondisi waktu operasi dan laju alir umpan optimum pada membran ultrafiltrasi dalam pengolahan air terproduksi menjadi air yang memenuhi syarat menggunakan serat kapuk dan membran ultrafiltrasi berdasarkan baku mutu lingkungan yang diatur oleh Peraturan Gubernur Sumatera Selatan No.8 Tahun 2012 dan Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup Republik Indonesia Nomor 5 tahun 2014.
4. Mengevaluasi dan menganalisis karakteristik air terproduksi yang dihasilkan berdasarkan standar baku mutu air limbah yang diatur oleh Peraturan Gubernur Sumatera Selatan No.8 Tahun 2012 dan Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup Republik Indonesia Nomor 5 tahun 2014.

#### **1.4. Manfaat Penelitian**

Adapun manfaat dari penelitian ini, yaitu:

1. Hasil penelitian mampu mempelajari karakteristik limbah air terproduksi dengan pengolahan menggunakan serat kapuk sebagai absorben dan membran ultrafiltrasi.
2. Hasil penelitian untuk mengetahui pengaruh laju alir umpan dan waktu terhadap penurunan kandungan TDS, barium dan fenol.
3. Hasil penelitian bisa dijadikan referensi dalam penelitian selanjutnya dan acuan pembelajaran untuk pengolahan limbah air terproduksi berikutnya.
4. Hasil penelitian dapat dijadikan acuan dalam proses *pre-treatment* air terproduksi (*produced water*) sebelum dilakukan proses lanjutan karena sifatnya yang mampu menurunkan kandungan TDS, barium dan fenol.
5. Hasil penelitian dapat dijadikan sebagai sarana untuk mengimplementasikan dan menyusun pengembangan pengolahan air terproduksi (*produced water*).
6. Mengetahui pemanfaatan air terproduksi untuk kepentingan masyarakat umum yaitu dapat digunakan untuk air irigasi, untuk dikonsumsi satwa dan bahkan sebagai air minum.



### 1.5. Ruang Lingkup

Ruang lingkup penelitian ini adalah:

1. Penelitian ini berskala laboratorium
2. Air terproduksi diambil dari PT.Pertamina EP Prabumulih Barat.
3. Serat kapuk didapat dari pasar lokal Palembang.
4. Kolom absorpsi berupa Tabung FRP terbuat dari Fiber, tinggi :54 inchi, diameter 10 inchi. Kolom absorpsi dilengkapi dengan tiga buah spon filter terbuat dari Poyethylene, tinggi : 20 inchi diameter 2 inchi dengan diameter pori 0,5  $\mu$ ; berisi karbon aktif diameter pori 0,3  $\mu$ ; dan 0,1 $\mu$ .
5. Membran yang digunakan Ultrafiltrasi dengan tipe membran HM90 UF, Stainles steel, tinggi: 74 inchi diameter : 4,9 inchi, temperatur range = 5 – 45 °C, Feed Turbidity required = < 100 NTU.
6. Laju alir yang digunakan dalam pengolahan air terproduksi adalah 5 L/menit, 6 L/menit dan 7 L/menit.
7. Waktu yang digunakan dalam pengolahan air terproduksi adalah 30 menit, 60 menit 90 menit.
8. Analisis awal air terproduksi meliputi suhu, COD, minyak & lemak, fenol, TDS, pH, amonia total, sulfida, barium terlarut.
9. Analisis air hasil pengolahan meliputi kadar TDS, pH, barium dan fenol.
10. Proses absorpsi pada pengolahan air terproduksi (*produced water*) ini adalah sebagai proses pre-treatment sebelum dilakukan proses lanjutan menggunakan membran ultrafiltrasi.

### 1.6. Hipotesis

1. Pengolahan air terproduksi menggunakan serat kapuk yang diaktivasi dengan NaOH 5% dan air pada temperatur 95,5°C mampu menurunkan TDS, fenol serta ion logam berat.
2. Penggunaan membran ultrafiltrasi sebagai lanjutan proses pengolahan air terproduksi akan meningkatkan persentase penurunan , TDS, fenol, serta barium.

## DAFTAR PUSTAKA

- Alcafi, M.C., Yusuf, M. & Prabu, U.A. 2019. Penggunaan zeolit dalam menurunkan konsentrasi lemak dan minyak pada air terproduksi migas. *Jurnal Pertambangan*, 3(4): 23–27.
- Al-Ghouti, M.A., Al-Kaabi, M.A., Ashfaq, M.Y. & Da'na, D.A. 2019. Produced water characteristics, treatment and reuse: A review. *Journal of Water Process Engineering*, 28: 222–246.
- Al-Kaabi, M.A., Al-Ghouti, M.A., Ashfaq, M.Y.M. & Ahmed, T. 2019. An integrated approach for produced water treatment using microemulsions modified activated carbon. *Journal of Water Process Engineering*, 31: 1–8.
- Andina, K. 2017. Pengolahan air limbah berminyak dengan teknologi membran. *Bandung Institut of Technologi*, 3: 1–10.
- Anuzyte, E., Vaisis, V. & Voidotas 2018. Natural oil sorbents modification methods for hydrophobicity improvement. *Energy Procedia*, 147: 295–300.
- Arifin, Y.I. 2016. *Sifat-sifat optik dan permukaan serat kapuk*. Universitas Negeri Gorontalo.
- Arthur, D.J., Hochheiser, W.H., Bottrell & D, M. 2017. Management of produced water from oil and gas wells. *NPC North American Resource Development Study*, 2(17): 1–32.
- Aufa, R. 2017. Teknik penyisihan fenol dari air limbah. *Bandung Institute of Technology*, 1: 1–13.
- Benyahia, F., Mohamed Abdulkarim & Ahmed Embaby 2016. Refinery wastewater treatment: A true technological challenge. *The Seventh Annual U.A.E. University Research Conference*, 8: 18–193.
- Bolton, G.R., Boesch W., A. & Lazzara J., M. 2016. The effects of flow rate on membrane capacity: Development and application of adsorptive membrane fouling models. *Journal of Membrane Science*, 279(1–2): 625–634.
- Braga, E., Santos, C., Gomes, C. & Pereira, J.J. 2017. Pengaruh perlakuan alkali dan air panas terhadap struktur dan morfologi serat piassava. *universitas Federal Paraiba, Joao Pessoa, PB, Brasil*, 21(2): 1–10.
- Detho, A., Daud, Z., Rosli, M.A. & Awang, A. 2021. Comparison study of cod and ammoniacal nitrogen adsorption on activated coconut shell carbon, green mussel (*Perna Viridis*), zeolite and composite material in stabilized landfill leachate treatment. *Desalination and Water Treatment*, 220: 101–108.
- Dickhout, J.M., Moreno, J., Bieshevel, P.M. & Boels, L. 2017. Produced water treatment by membranes: A review from a colloidal perspective. *Journal of Colloid and Interface Science*, 487: 523–534.

- Duruibe, J., Ogwuegbu, M.O.C. & Egwurugwu, J.N. 2017. Polusi logam berat dan efek biotoksik manusia. *Jurnal Internasional ilmu Fisika*, 2(5): 112–118.
- Effendi, D., Hani, B., Selly & Rosda 2020. Penentuan karakteristik air pada stasiun pengumpul ( SP ) lapangan minyak Y sesuai peraturan menteri lingkungan hidup No . 19 Tahun 2010. *lemigas.esdm Universitas Tantri Abeng*, 54(2): 111–125.
- Ester Suoth, A., Ernawita, N. & Martina 2016. Karakteristik air limbah rumah tangga pada salah satu perumahan menengah keatas di Tangerang Selatan. *Jurnal Ecolab*, 10(2): 80–88.
- Ezugbe, E.O., Rathilal, S. & Sudes 2020. Membrane technologies in wastewater treatment: A review. *Membranes*, 10(5): 1–28.
- Fakhrul-Razi, A., Pendashteh, A., Abdullah, L.C. & Awang, R.. 2009. Review of technologies for oil and gas produced water treatment. *Journal of Hazardous Materials*, 170(2–3): 530–551.
- Fawas, M. 2021. *Pemanfaatan serat kapuk dalam pengolahan air terproduksi berbasis multi sistem adsorpsi dan membran*. Universitas Sriwijaya.
- Firdaus, M. 2020. Pengolahan Air Terproduksi Pada Lapangan “ F D .” *Offshore*, 4(1): 28–35.
- Fitri, R. 2020. *Pengolahan air terproduksi menggunakan metode kombinasi proses elektrokoagulasi dengan elektroda besi ( Fe ) dan adsorpsi dengan media silika & karbon aktif*. Universitas Sriwijaya.
- Hoslett, J., Massara, T.M., Malamis, S., Ahmad, D. & Katsou, E. 2018. Surface water filtration using granular media and membranes: A review. *Science of the Total Environment*, 639: 1268–1282.
- Igwegbe, C.A., Umembamalu, C.J., Osuagwu, E.U., Oba, S.N. & Emembolu, L.N. 2020. Studies on adsorption characteristics of corn cobs activated carbon for the removal of oil and grease from oil refinery desalter effluent in a downflow fixed bed adsorption equipment. *European Journal of Sustainable Development Research*, 5(1): 1–14.
- Ivanova, N., Gugleva, V. & Dobreva, M. 2016. Wastewater treatment using membrane technology. *Intech*, 1: 1–13.
- Ivory, D. 2016. *Prospek pemanfaatan Aair terproduksi*. Teknik Kimia Institute Teknologi Bandung, 5: 1–9.
- Jepsen, K.L., Bram, M.V., Pedersen, S. & Yang, Z. 2018. Membrane fouling for produced water treatment: A review study from a process control perspective. *Water (Switzerland)*, 10(7): 2–28.
- Jiménez, S., Mico, M., Arnaldos, M. & F, M. 2018. State of the art of produced water treatment. *Chemosphere*, 192: 186–208.

- Knapik, E., Chruszcz-Lipska, Katarzyna & Stopa, J. 2020. Separation of BTX fraction from reservoir brines by sorption onto hydrophobized biomass in a fixed-bed-column system. *Energies*, 13(5): 1–15.
- Lim, T.T. & Huang, X. 2007. Evaluation of kapok (*Ceiba pentandra* (L.) Gaertn.) as a natural hollow hydrophobic-oleophilic fibrous sorbent for oil spill cleanup. *Chemosphere*, 66(5): 955–963.
- Lv, N., Wang, X., Peng, S. & Luo, L. 2018. Superhydrophobic/superoleophilic cotton-oil absorbent: Preparation and its application in oil/water separation. *RSC Advances*, 8(53): 30257–30264.
- Mardiyati, Rizkiansyah, R.R., Steven & Arif, B. 2016. Serat Kapuk Sebagai Bahan Baku Pembuatan Mikrokristalin Selulosa. *Jurnal Sains Materi Indonesia*, 17(4): 172–177.
- Martini, S., Sharmeen, A., Ahmad Roni, K. & Rizki 2020. Modified eucalyptus bark as a sorbent for simultaneous removal of COD, oil, and Cr(III) from industrial wastewater. *Alexandria Engineering Journal*, 59(3): 1637–1648.
- Meric, I., Johansen, G.A. & Holstad, M.B. 2016. Produced water characterization by prompt gamma-ray neutron activation analysis. *Measurement Science and Technology*, 22(12): 1–12.
- Naharudin, A.U., Shaarani, S.H.N. & Rou, L.M. 2020. Kapok as an adsorbent for industrial wastewater. *Journal of Chemical Engineering and Industrial Biotechnology*, 5(2): 48–54.
- Neff, J.M., Lee, K. & DeBlois, E.M. 2016. Produced water: Overview of composition, fates and effects. *Battelle Memorial Institute, Duxbury, MA*, 8(790): 1–52.
- Notoatmodjo 2017. Karakteristik Air Limbah Dan Domestik. *Journal of Chemical Information and Modeling*, 53(9): 1689–1699.
- Patty, J., Siahaan, R. & V. Maabuat, P. 2018. Kehadiran logam-logam berat (Pb, Cd, Cu, Zn) pada air dan sedimen sungai lowatag Minahasa Tenggara - Sulawesi Utara. *Jurnal Bioslogos*, 8(1): 16–20.
- Pérez, Fernández, V.M., Mesa, J.M., Balsera & Álvarez, J.V., Alonso, C. 2021. A random forest model for the prediction of fog content in inlet wastewater from urban wwtps. *Water (Switzerland)*, 13(1237): 1–17.
- Peraturan Gubernur Sumatera Selatan Nomor 8 Tahun 2012. Baku Mutu Limbah Cair Bagi Kegiatan Industri, Hotel, rumah Sakit, Domeatik dan pertambangan Batu Bara
- Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Republik Indonesia Nomor 5 Tahun 2014. Baku Mutu Air Limbah Bagi Usaha Dan/Atau Kegiatan Yang Belum Memiliki Baku Mutu Air Limbah Yang Ditetapkan

- Pratama, T.N., Hadianoro, S. & Sigit, H. 2021. Sintesis biosorben untuk menyerap ion logam nikel. *Teknologi Separasi Distilat*, 7(9): 622–628.
- Pratiwi, D.Y. 2020. Dampak pencemaran logam berat (Timbal, Tembaga, Merkuri, Kadmium, Krom) terhadap organisme perairan dan kesehatan manusia. *Jurnal Akuatek*, 1(1): 59–65.
- Purnamawati 2018. Physical and chemical properties of kapok ( *Ceiba pentandra* ) and balsa ( *Ochroma pyramidale* ) fibers. *Journal of the Korean Wood Science and Technology*, 46(4): 393–401.
- Qalyoubi, L., Al-Othman, A. & Al-Asheh, S. 2021. Recent progress and challenges of adsorptive membranes for the removal of pollutants from wastewater. Part II: Environmental applications. *Case Studies in Chemical and Environmental Engineering*, 3: 100102.
- Ratih, P. & Prinajati, P.S. 2018. Adsorption for lead removal by chitosan from shrimp shells. *Indonesian Journal of Urban and Environmental Technology*, 2(1): 1–35.
- Santos, E.B.C., Moreno, C.G., Barros, J.J.P., de Moura, D.A., de Carvalho Fim, F., Ries, A., Wellen, R.M.R. & Da Silva, L.B. 2018. Effect of alkaline and hot water treatments on the structure and morphology of piassava fibers. *Materials Research*, 21(2): 1–11.
- Sherhan, B.Y., Abbas, A.D. & Alsahly, Q.F. 2016. Produced water treatment using ultrafiltration and nanofiltration membranes. *Al-Khwarizmi Engineering Journal*, 12(3): 10–18.
- De Silva, C.L., Garlapalli, R.K., Tremblay & P., J. 2017. Removal of phenol from oil/gas produced water using supercritical water treatment with TiO<sub>2</sub> supported MnO<sub>2</sub> catalyst. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 5(1): 488–493.
- Somporn, Apirakchaiskul, A., Suvarnakich, K. & Kiatkamjornwong, S. 2018. Kapok I: Characteristics of kapok fiber as a potential pulp source for papermaking. *BioResources*, 7(1): 475–488.
- Surahman 2020. *Penurunan TDS, COD dan minyak & lemak air terproduksi (produced water) pada proses pre-treatment menggunakan elektrokoagulasi di industri migas Sumatera Selatan*. Universitas Sriwijaya.
- Syafrianda, I., Yenie, E. & Daud, S. 2017. *Pengaruh waktu kontak dan laju pengadukan terhadap adsorpsi zat warna pada air gambut menggunakan adsorben limbah biosolid land application industri minyak kelapa sawit*. Teknik Lingkungan Universitas Riau, 4(2): 1–6.
- Tanja Soldatović 2021. Correlation between HSAB Principle and Substitution Reactions in Bioinorganic Reactions. *Photophysics, Photochemical and Substitution Reactions - Recent Advances*. hal.1–11.

- Viju, S., Thilagavathi, G. & Soldir 2020. Hot Water Treatment on Nettle Fibers: An Environment-Friendly/Economical Process for the Production of Oil Sorbent. *Journal of Natural Fibers*, 1–9.
- Vilardi, G., Di Palma, L., Verdone & Nicola 2018. Heavy metals adsorption by banana peels micro-powder: Equilibrium modeling by non-linear models. *Chinese Journal of Chemical Engineering*, 26(3): 455–464.
- Wang, J., Zheng, Y., Wang, A. & Dkk 2016. Effect of kapok fiber treated with various solvents on oil absorbency. *Industrial Crops and Products*, 40(1): 178–184.
- Wenten, I.G. depertemen teknik kimia I. 2016. *Teknologi membran dalam pengolahan air dan limbah cair*. Teknik Kimia Institute Teknologi Bandung, 283: 1–22.
- Wulan, N., Utami, A., Ekha, Y. & Kristiati, M. 2018. Pengolahan air terproduksi dengan membran bioreaktor di wilayah penambangan Wonocolo. *Journal Eksergi Universitas Veteran Yogyakarta*, 15(2): 34.
- Wulandari, 2016:141, Ferretti, Federico, S. & Wilson 2016. Karakteristik Kimia Serat Buah Kapuk sebagai Bahan Penyerap Minyak. *Proceedings of the 8th Biennial Conference of the International Academy of Commercial and Consumer Law*, 1(hal 140): 43.
- Zhang, X., Fu, W., Duan, C. & Xiao, H. 2017. Superhydrophobicity determines the buoyancy performance of kapok fiber aggregates. *Applied Surface Science*, 266(2): 225–229.
- Zheng, Y., Wang, J., Zhu, Y. & Wang, A. 2016a. Research and application of kapok fiber as an absorbing. *Angewandte Chemie International Edition*, 6(11), 951–952., 1(1): 1–64.
- Zheng, Y., Wang, W., Huang, D. & Wang, A. 2016b. Kapok fiber oriented-polyaniline nanofibers for efficient Cr(VI) removal. *Chemical Engineering Journal*, 191: 154–161.
- Zolghadr, E., Firouzjaei, M.D., Amouzandeh, G. & Leclair, P. 2021. The role of membrane-based technologies in environmental treatment and reuse of produced water. *Frontiers in Environmental Science*, 9: 2–31.

